



**AVANCES EN**

**Antropología**

**FORENSE**

Quinto-Sánchez Mirsha | Gómez-Valdés Jorge



Facultad de Medicina





AVANCES EN  
Antropología  
**FORENSE**



**Quinto-Sánchez Mirsha**  
**Gómez-Valdés Jorge**



Facultad de Medicina





**Catalogación en la publicación UNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información**

**Nombres:** Quinto Sánchez, Mirsha, autor. | Gómez-Valdés, Jorge Alfredo, autor.

**Título:** Avances en antropología forense / Quinto-Sánchez Mirsha, Gómez-Valdés Jorge.

**Descripción:** Primera edición. | Ciudad de México : Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina, Laboratorio de Antropología y Odontología Forense, 2021. | Al pie de la portada: Ciencias Forenses.

**Identificadores:** LIBRUNAM 2122099 (impreso) | LIBRUNAM 2124214 (libro electrónico) | ISBN 9786073056557 (impreso) | ISBN 9786073056540 (libro electrónico).

**Temas:** Osteología forense -- México. | Antropología forense -- México. | Antropología dental -- México. | Seres humanos -- Determinación de la edad.

**Clasificación:** LCC RA1059.Q85 2021 (impreso) | LCC RA1059 (libro electrónico) | DDC 614.17—dc23

*Avances en Antropología Forense*

*Mirsha Quinto Sánchez, Jorge Gómez Valdés*

Primera Edición 2022

Fecha de edición: 28 de enero de 2022

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán

C.P. 04510, Ciudad de México

Facultad de Medicina

Licenciatura en Ciencias Forense

Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF)

ISBN Avances en Antropología Forense (impreso): 978-607-30-5655-7

ISBN Avances en Antropología Forense (electrónico): 978-607-30-5654-0

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho en México/Made in Mexico

Portada: Emiliano Bellini (ilustración) y Juan Carlos Guevara López (diseño).

Diseño, maquetación y corrección: Juan Carlos Guevara López y Alejandra Galindo Agüero.

# Prefacio

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) como institución educativa pública, tiene responsabilidades y compromisos sociales que cumple con la generación de proyectos que tengan como finalidad investigar, explicar y atender los problemas que afectan a la sociedad dentro de los más diversos ámbitos (LCF, 2020). La respuesta a la crisis forense que acontece en México fue la creación de la Licenciatura en Ciencia Forense (LCF) en 2013, para otorgar a sus egresados la posibilidad de conducir y participar en investigaciones especializadas de hechos presuntamente constitutivos de delitos y aportar pruebas científicas concluyentes, con apego a los derechos humanos, evitando el castigo de inocentes y la impunidad de culpables. La conformación de la LCF también representó la creación de un cuerpo de investigadores y profesores que se cohesionan en diversas líneas de investigación forense aplicada, una de ellas es la antropología. Es así, como en 2016 nace el Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF) como un espacio para la investigación aplicada en materia de identificación humana en las poblaciones mexicanas y de la generación de investigación para el desarrollo de políticas públicas en materia forense en México. Dentro de todos los marcos de acción del LAOF se encuentra el rubro de formación de profesionales bajo un modelo basado en evidencia en el campo de las ciencias forenses antropológicas, este libro es producto de esta praxis.

El modelo basado en evidencia integra tres fuentes de datos para la generación de una directriz en algún campo científico: a) la mejor evidencia científica publicada, b) las preferencias de los familiares o víctimas, c) la expertise de los peritos o profesionales. *Avances en Antropología Forense* ha intentado sintetizar dichas fuentes de información para consolidar un producto que consta de 30 capítulos y 64 autores de instituciones universitarias o periciales de diversos países.

El libro también cuenta el lado humano de la ciencia, las amistades y colaboraciones para con el trabajo científico que tantos autores han depositado en ésta obra, como una reivindicación al mutualismo y la autogestión. La obra es innovadora, gracias a las colaboraciones de profesores, peritos, docentes e investigadores de universidades públicas, procuradurías, policía, equipos independientes, etc., a quienes agradecemos haber apostado por presentar sus trabajos en la Facultad de Medicina de la UNAM.

Para la mejor lectura de *Avances en Antropología Forense* se ha estructurado el capitulo en cinco secciones: introducción, perfil biológico, perfil individualizante, innovación y aplicaciones, y estudios de caso. En cada capítulo, las o los autores han tenido la total libertad de plasmar sus ideas, por lo que destacamos cada una de sus contribuciones.

Es importante aclarar que, si bien es un libro de antropología forense, no pretende ser totalizador, muchos temas centrales de la antropología no han sido abordados en la presente edición por cuestiones de espacio. Por ello, consideramos a *Avances en Antropología Forense* una obra en construcción permanente, como una forma de mantener su actualización, pero también como una demanda de incluir más rubros del basto campo de las ciencias antropológicas forenses.

*Avances en Antropología Forense*, reivindica los principios rectores para la búsqueda de personas (ONU-DH, 2019) que establecen que la información en materia forense debe ser de calidad y estar sujeta a revisión constante; ello permitirá el acceso a la verdad, justicia, garantías de no repetición, reparación y memoria de las víctimas o sus familiares.

En el país de las desigualdades y la impunidad, de las más de 89 mil personas desaparecidas o no localizadas, de las fosas clandestinas y de las desapariciones administrativas en cementerios, se requiere de programas de emancipación científica robustos, que permita realizar una crítica social activa y generar una praxis transformadora en los sistemas culturales dominados por el modelo económico actual.

**Mirsha Quinto-Sánchez y Jorge A. Gomez-Valdés.**

LCF 2020. Presentación ejecutiva de la Licenciatura en Ciencia Forense. Facultad de Medicina. UNAM. 15 pp.

ONU-DH. 2019. Principios rectores para la búsqueda de personas desaparecidas. CDMX: Oficina en México del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos.

# Agradecimientos

*Avances en Antropología Forense* es resultado de la ejecución del proyecto Conacyt para Atención a Problemas Nacionales 2518-2016 otorgado en la categoría de Investigador Joven al Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF) de la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México con un periodo de ejecución de 2018-2020. Agradecemos a los tres revisores del libro, sus correcciones y comentarios a la versión inicial del manuscrito. También, queremos agradecer la gestión editorial del Dr. Jorge Avendaño-Inestrillas, Editor ejecutivo del Comité Editorial y a Lic. María de la Paz Romero Ramírez, Secretaria Técnica del Comité Editorial y Coordinadora Editorial del Departamento de Publicaciones, ambos de la Facultad de Medicina, UNAM





# Índice

## Sección 1: Introducción

1. El Desarrollo de la Antropología Forense en América Latina **3**
2. Protocolo de Antropología Forense en México **10**

## Sección 2: Perfil biológico

3. Estimación Sexual **27**
4. Morfometría Geométrica para la Cuantificación de Rasgos del Perfil Biológico en Estudios Forenses **51**
5. Consideraciones para la Estimación de Edad al Momento de la Muerte en Esqueletos Subadultos **69**
6. Estimación de la Edad en Individuos Inmaduros Mediante Análisis Radiográfico **89**
7. Estimación de la Edad al Momento de la Muerte Usando el Extremo Estral de la Cuarta Costilla de Individuos Masculinos Mexicanos **108**
8. Utilidad de la Morfología Dental para Estimación de Ancestría. **123**
9. Estimación de la Ancestría Utilizando Características Morfológicas **139**
10. Estimación de la Ancestría Biogeográfica Mediante Caracteres Cuantitativos Craneofaciales **153**
11. Consideraciones para la Estimación de Estatura en Antropología Forense **176**
12. La Odontología en Ciencia Forense: Alcances y Limitaciones en Procesos de Procuración de Justicia **199**
13. Marcas de Actividad en el Esqueleto y su Uso en la Antropología Forense **220**

## Sección 3: Perfil individualizante

14. Traumatismos Óseos por Impacto de Proyectoil de Arma de Fuego **244**

- 15. Osteopatología Forense 267
- 16. Introducción a la Biometría Forense 287
- 17. Situación Actual y Nuevos Retos en Genética Forense 296

#### Sección 4: Innovación y aplicaciones

- 18. Aplicaciones de la Histomorfología de Hueso No Descalcificado en las Ciencias Forenses 310
- 19. Fotografía Científica Aplicada a la Antropología Forense: Hacia un Protocolo Basado en Evidencia 329
- 20. Introducción al Concepto y Cálculo del Error de Medición en Estudios Morfológicos 350
- 21. El Estado del Arte de la Predicción Fenotípica a través del ADN para Uso Forense 362
- 22. Reconocimiento Automático de Estructuras Anatómicas por Medio de Morfometría Geométrica y Deep Learning 375
- 23. Identificación Facial Forense 405
- 24. La Percepción Remota en Investigaciones Forenses 429

#### Sección 5: Estudios de caso

- 25. La Colección Osteológica de Referencia del Cementerio Xoclán, Mérida, Yucatán 456
- 26. Las Palabras Desplazadas. Descifrando lo Intangible a través de la Ficha de Datos Antemortem y la Entrevista con Familiares de Personas Desaparecidas 465
- 27. Otras Formas de Desaparición: La Experiencia en la Fosa Común del Panteón de Palo Verde, Xalapa, Veracruz 474
- 28. Clasificación de Lesiones Dentales en el Ámbito Penal de la Odontología Forense en la Ciudad de México. Estudio de Caso. 496
- 29. La Antropología Física Forense en Situaciones de Emergencia: 19 de septiembre en la Ciudad de México 509
- 30. Democracia y Prácticas de Antropología Forense en Brasil en la Búsqueda de Desaparecidos de la Dictadura Militar 527

# Autores



## Mirsha Quinto-Sánchez

mirsha@cienciaforense.facmed.unam.mx

Biólogo por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, técnico en Emergencias Médicas por URGEMED, maestro en Antropología por la UNAM y doctor en Ciencias Naturales por la Universidad Nacional de La Plata. Es parte del Sistema Nacional de Investigadores nivel I. Actualmente es profesor asociado "C" tiempo completo adscrito a la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la UNAM.

---



## Jorge A. Gómez-Valdés

jorge\_gomez@inah.gob.mx

Es antropólogo físico por la Escuela Nacional de Antropología e Historia y tiene maestría y doctorado en Antropología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es investigador titular y docente en el Instituto Nacional de Antropología e Historia, donde coordina el Laboratorio de Bioarqueología. Ha publicado diversas investigaciones en revistas científicas, así como en capítulos de libro y, también, es autor de dos libros. Forma parte de diversas sociedades académicas como como la Asociación Mexicana de Antropología Biológica y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

---



## Douglas Henry Ubelaker

ubelaked@si.edu

Doctor por la Universidad de Kansas. Actualmente se desempeña como curador y *senior scientist* en el Departamento de Antropología del Museo Nacional de Historia Natural, Instituto Smithsonian, Washington D.C. EUA. Ha realizado peritajes sobre más de 980 casos forenses, principalmente a solicitud de la Oficina Federal de Investigaciones (FBI) de EUA. Ha publicado extensamente sobre temas relacionados con la antropología forense y la bioarqueología. Se desempeñó como presidente de la Academia Estadounidense de Ciencias Forenses en 2011-2012 y ha recibido numerosos premios.



### **Mariel Guadalupe Durán Romero**

mriduran@gmail.com

Licenciada y maestra en Antropología Física por la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH). Durante 2008-2009 laboró como asistente de investigador en la Dirección de Antropología Física de la Dirección de Antropología del INAH, dentro del Proyecto “Las Momias de México”.

Del 2010 al 2014 se desempeñó como perito de la Fiscalía General de Justicia de Chihuahua, adscrita a la Zona Norte, en Ciudad Juárez. Del 2017-2018 trabajó como asesor forense para la asociación civil INSYDE con sede en la CDMX, dentro de las funciones que realizó se encuentran: apoyo a diferentes Fiscalías, asesorías en temas relacionados con búsquedas de personas desaparecidas y sobre todo temas de identificación humana, al mismo tiempo impartió diferentes talleres en el tema de Búsquedas e Identificación a diferentes colectivos de familiares de personas desaparecidas.

Del 2018 a la fecha forma parte del Equipo Multidisciplinario de Identificación de la Fiscalía General de Justicia de Tamaulipas.



### **Yadira Yetzabel Reyna Hernández**

yreyna@espol.edu.ec

Doctora en Ciencias Antropológicas por la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH), maestra en Antropología por la UNAM y licenciada en Antropología Física por la ENAH.

Es profesora e investigadora en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en Ecuador. Del 2015 al 2019 fue profesora de la Licenciatura en Arqueología y de la Licenciatura en Antropología Física de la ENAH. Ha colaborado como investigadora en proyectos de Salvamento Arqueológico del Instituto Nacional de Antropología e Historia y como participante de proyectos de investigación en el Instituto de Investigaciones Estéticas y en el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM.

Trabajó como perito oficial en antropología forense en la Fiscalía General de la República, realizando peritajes en temas de trata de personas, pornografía infantil, identificación de personas vivas y fallecidas; así como de búsqueda y recuperación de restos de personas fallecidas en espacios clandestinos. Ha impartido conferencias en temas de antropología forense, bioarqueología y antropología molecular; así como talleres informativos y cursos de capacitación en antropología forense a peritos oficiales, agentes del ministerio público y colectivos de familiares de personas desaparecidas en varios estados de la República Mexicana a nivel federal y estatal.



### Omar Olivo Del Olmo

Xahil@hotmail.com

Licenciado, maestro y doctor en Arqueología por la Escuela Nacional de Antropología e Historia, en donde fue nombrado jefe de Carrera de la Licenciatura en Arqueología durante el período 2015-2017. Sus líneas de investigaciones versan sobre: arqueología prehispánica del continente americano; historia de la arqueología y antropología mexicana; cultura, patrimonio cultural y capitalismo; arqueología del conflicto y posconflicto en temas de violencia y resistencia; arqueología forense en casos de desaparición forzada y; teoría crítica desde la arqueología social y arqueología antropológica. Cuenta con una diversidad de artículos y libros sobre los temas referidos. Ha realizado trabajo de campo e investigación en México, Guatemala, Cuba, Ecuador, Bolivia, etc. Igualmente ha impartido diversos cursos y conferencias en universidades de México y el extranjero. Actualmente realiza trabajo de docencia e investigación en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.



### Matilde Margarita Domínguez Cornejo

Actualmente realiza una estancia posdoctoral en la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León (ENES), UNAM, desarrollando el proyecto titulado "Aquí no pasa nada": violencia, género y reconfiguración social en Guanajuato". Los temas de investigación que han guiado su carrera académica son: género, cuerpo, modificaciones corporales, biomedicina, violencia y disidencias sexuales. Además, ha trabajado en sociedad civil, consultora independiente y docente en materias como sociología, antropología y estudios culturales en distintas universidades.



### Perla Liliana Chávez Martínez

perla.lichma@gmail.com

Licenciada en Antropología Física por la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH), maestra en Antropología por la UNAM; especialista en el análisis osteológico de restos humanos adultos, infantiles y fetales, específicamente, en la estimación del perfil biológico y el análisis patológico; con amplia experiencia en búsqueda, localización y exhumación de fosas clandestinas y en excavación en contextos arqueológicos e históricos.

Trabajó como investigadora a cargo de la sección de antropología física, en el Proyecto Arqueológico Valles de la Sierra Gorda del INAH. Ha destacado como docente en antropología física, osteología, identificación humana y análisis forense, en distintos diplomados de la UNAM; fue profesora en la especialidad de Antropología Forense de la ENAH. Trabajó como perito profesional en antropología en la Coordinación General de Servicios Periciales de la Procuraduría General de la República, colaborando en la búsqueda, recuperación y análisis de restos humanos en asuntos de orden federal.

Actualmente, participa en los procesos de búsqueda, exhumación y análisis de restos óseos de víctimas de la Guerra Civil Española, en el País Vasco. Ha sido galardonada con el Premio INAH Javier Romero Molina por sus tesis de licenciatura y maestría, además, de la Medalla Alfonso Caso al Mérito Universitario por su trayectoria académica e investigación con restos óseos fetales.



### Abigail Meza Peñaloza

abigailm@unam.mx

Licenciada en Antropología Física por la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH), maestra en Antropología y doctora en Estudios Mesoamericanos. Ambos grados otorgados por la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM.

Especialista en el estudio de la variabilidad fenotípica de nuestra especie. Las principales líneas de investigación son la osteología antropológica y sus aplicaciones en el estudio de sociedades antiguas y contemporáneas. Esto incluye paleopatología, arqueología funeraria, tafonomía, bioarqueología y antropología forense.

Ha participado en diversos proyectos de investigación arqueológica y osteológica del INAH y la UNAM en el Centro de la Ciudad de México, Estado de México, Oaxaca y Tamaulipas.

Actualmente es profesora e investigadora de tiempo completo en el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, responsable del Laboratorio de Osteología del IIA, profesora de la Licenciatura en Antropología de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales y del posgrado en Antropología de la UNAM.



### Francisco de Asis Etxeberria Gabilondo

paco.etxeberría@ehu.eus

Doctor en Medicina por la Universidad del País Vasco, especialista en Medicina Legal y Forense, especialista en Antropología Biológica Forense. Sus trabajos en el ámbito forense y experiencia son reconocidos a nivel mundial, ha participado como experto en el Comité Internacional de la Cruz Roja y como miembro de distintos comités internacionales forenses en Europa, América y África.

Su amplia experiencia en el campo de la antropología permite que sus investigaciones se adecuen a las necesidades y requerimientos de la investigación forense a nivel internacional, participando en casos de interés mediático, como el caso Bretón, Lasa y Zabala, las muertes de Víctor Jara y Salvador Allende y la tumba de Miguel de Cervantes, entre otros.

Ha sido profesor en la Universidad del País Vasco y en el Instituto Vasco de Criminología de la Universidad del País Vasco. Le han sido otorgados numerosos premios y distinciones por su trayectoria académica y profesional en el campo de la medicina forense y su labor en la recuperación de la memoria histórica.

Actualmente es docente, miembro de la Sociedad de Ciencias Aranzadi y director del equipo constituido para el estudio de los desaparecidos y las fosas comunes de la Guerra Civil Española, y nombrado Asesor del Gobierno de la Nación Española en materia de memoria histórica.



### Jessica I. Cerezo Román

jessica.cerezoroman@ou.edu

Obtuvo su maestría en Antropología Física en la Escuela Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México y su doctorado en la Universidad de Arizona, Tucson. Actualmente trabaja el Department of Anthropology, University of Oklahoma (<https://www.ou.edu/cas/anthropology/faculty-staff/jessica-cerezo-roman>).

Es especialista en el estudio de restos humanos altamente fragmentados y cremados, prácticas mortuorias, bioarqueología y antropología forense. Utiliza enfoques arqueológicos metodológicos y teóricos de vanguardia para estudiar el cuerpo humano y las costumbres mortuorias de las poblaciones antiguas del gran sudoeste de América, México, el norte de Europa, Grecia y el norte de África.

Sus enfoques teóricos se centran en sociedades complejas emergentes, intersecciones de identidades, personalidad, personificación, memoria y rituales funerarios. En el ámbito forense ha trabajado como antropóloga forense en el Pima County Medical Examiner Office, Tucson, Arizona. Al igual consulta como antropóloga forense especializada en restos humanos quemados en the Office of the Chief Medical Examiner, Oklahoma City y en Tulsa Race Massacre Graves Investigation, City of Tulsa.

Es miembro asociado de la sección de antropología forense de la Academia Estadounidense de Ciencias Forenses y parte del Academic Board del Institute for Field Research (<https://ifrglobal.org>).



### Stefano de Luca

sdeluca@sml.gob.cl

Licenciado en Prehistoria y Arqueología por la Universidad del Salento (Italia). Master oficial en Antropología Forense y doctor en Biomedicina con especialidad en Antropología Forense por la Facultad de Medicina de la Universidad de Granada (España). Becario pre y postdoctoral en Portugal, Italia, Inglaterra y México con estudios en Antropología Dental e Identificación Humana. Desde el año 2015, perito forense del área de identificación forense de la Unidad de Derechos Humanos del Servicio Médico Legal de Santiago (Chile).

Autor de publicaciones en revistas científicas indexadas en los ámbitos de la medicina legal, antropología y odontología forense, paleopatología y arqueología forense. Autor y co-autor de capítulos de libros en los temas de la estimación de la edad y de la identificación humana. Ponente en congresos nacionales e internacionales de medicina legal, antropología y odontología forense, con trabajos sobre estimación de la edad en vivos, especialmente en menores de edad.

Revisor de las siguientes revistas del área de las ciencias forenses: Journal of Forensic Sciences, Forensic Anthropology, International Journal of Legal Medicine, Egyptian Journal of Forensic Sciences, Journal of Forensic and Legal Medicine, Annals of Anatomy, Australian Journal of Forensic Sciences, Archives of Oral Biology, y Forensic Imaging.





### Ivan Galic

igalic@mefst.hr; ivan.galic.st@gmail.com

Se matriculó en la Facultad de Odontología de la Universidad de Zagreb en 1994 y se graduó en 2001.

En 2007, obtuvo su especialización en Cirugía Oral en la Clínica de Cirugía Bucal, Facultad de Odontología (Sarajevo), y continuó en el Departamento de Cirugía Bucal, Centro Hospitalario Universitario (Zagreb) y la Clínica de Cirugía Bucal, Hospital Universitario, Dubrava (Croacia). En 2011 defendió su tesis doctoral bajo la tutela del profesor Hrvoje Brkić.

Es coautor de varios capítulos en libros de texto universitarios de antropología dental, autor de varios artículos producto de conferencias en congresos científicos internacionales y de decenas de artículos científicos publicados en revistas con reseñas internacionales e indexadas en Current Contents and Science Citation Index.

Es miembro de la Sociedad Croata de Odontología Forense, Cámara Croata de Medicina Dental, Sociedad Odontológica Croata, Sociedad Croata de Cirugía Oral, Sociedad Croata de Implantología Dental, miembro asociado de la Sociedad Croata de Cirugía Oral y Maxilofacial, miembro de la Asociación Croata Centro Cochrane. Desde 2020, ha sido vicedecano de Estudios de Medicina Dental en la Facultad de Medicina de la Universidad de Split y Jefe del Departamento de Cirugía Bucal.



### Roberto Cameriere

agestimationproject@gmail.com

Licenciado en Medicina y Cirugía (Universidad de Bolonia) y doctor en Medicina Legal (Universidad de Macerata). Jefe del Laboratorio de Antropología Forense, Universidad de Macerata, Italia.

Autor de un volumen sobre odontología forense y un manual de sus métodos publicados para estimar la edad. Autor de varios artículos en materia forense, especialmente en lo que respecta a la estimación de la edad en adultos y subadultos, vivos y fallecidos.

Sus artículos citados con más frecuencia son: *Método para la estimación de la edad en subadultos según la relación entre el ápice abierto y la longitud de los dientes* y *La estimación de la edad adulta según la relación entre la pulpa y los caninos*.

También ha publicado estudios sobre identificación según senos frontales y oído. Es árbitro de algunas revistas influyentes de ciencia forense, anatomía y antropología. Ha colaborado en varios proyectos de investigación en los campos de la medicina forense y la antropología.



### G. Antinea Menéndez Garmendia

antshaker@hotmail.com

Licenciada en Antropología Física por la Escuela Nacional de Antropología e Historia y maestra dentro de la línea de especialización en Bioarqueología y Antropología Forense del posgrado en Antropología Física de la misma institución.

Actualmente es técnico académico asociado "A" tiempo completo de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México en donde trabaja la línea de osteología forense y en la curaduría y conservación de la Colección UNAM. Anteriormente se desempeñó como perito ejecutivo profesional asociado "B" en materia de antropología forense para la Procuraduría General de la República.

También ha sido profesora adjunta en la Escuela Nacional de Antropología e Historia; y ha trabajado en la Dirección de Antropología Física y la Dirección de Salvamento Arqueológico del INAH. Ha publicado algunos artículos como autora y coautora en revistas como: Antropo, American Journal of Physical Anthropology, Journal of Forensic Sciences e International Journal of Forensic Science.



### Gabriela Sánchez Mejorada Millán

millang@unam.mx

Realizó estudios universitarios en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en donde cursó la licenciatura de Médico Cirujano. En el posgrado, durante su formación como fisióloga, estudió los mecanismos de membrana que inducen la respuesta alérgica en el músculo. Desde entonces, se ha interesado por la biofísica y las matemáticas para explicar las respuestas fisiológicas inducidas por los receptores y sus ligandos. En años posteriores, incursiona en el estudio de los elementos bioquímicos y moleculares de la vía de transducción de señales de los receptores Fc en células fagocíticas, las propiedades fisicoquímicas de estos receptores y la estructura molecular y electrónica de moléculas de interés biomédico, para entender los mecanismos de sus acciones biológicas.

En los últimos años, ha desarrollado la línea de investigación: caracterización antropológica-física de población mexicana. Parte del propósito de esta investigación, es la caracterización de la colección de restos óseos humanos contemporáneos del Laboratorio de Antropología Física del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la UNAM, que permitirá obtener una colección útil para generar estándares de referencia de la población mexicana, que sirva tanto para la investigación como para la enseñanza de las ciencias forenses.



### Alexandra Klales

alexandra.klales@washburn.edu

Diplomada certificada por American Board of Forensic Anthropology y miembro de la sección de antropología de la American Academy of Forensic Sciences. Ha trabajado en más de 300 casos forenses, incluidas más de 40 recuperaciones arqueológicas forenses, varios accidentes aéreos y múltiples incendios fatales desde 2007. En 2016, se unió a la Universidad de Washburn para dirigir un nuevo programa de licenciatura en Antropología Forense. Actualmente imparte cursos de antropología biológica y antropología forense para Washburn y también ofrece cursos cortos de educación continua de verano en antropología forense.

Es fundadora y directora de la Unidad de Recuperación de Antropología Forense de la Universidad de Washburn (WU-FARU), que completa el trabajo de casos para agencias locales, regionales y estatales en Kansas y Missouri. Ha recibido más de 600,000 dólares americanos en becas de investigación financiadas con fondos federales y es la desarrolladora del Programa de Estimación Morfológica del Sexo MorphoPASSE.

Ha publicado más de una docena de artículos de investigación en múltiples revistas de antropología forense y biológica, y es editora de Sex Estimation of the Human Skeleton: History, Methods and Emerging Techniques (Elsevier 2020).

Actualmente también es editora de la revista Forensic Anthropology. Sus intereses de investigación incluyen el dimorfismo sexual, la estandarización de métodos en antropología forense y recuperaciones de incendios fatales.

---



### Rebecca L. George

rebeccageorge@nevada.unr.edu

Ph.D. (Universidad de Nevada, Reno 2020; Universidad Estatal de California, Chico 2015; Bachelor in Arts - Universidad de Tennessee, Knoxville 2012). Es instructora adjunta tanto en la Universidad de Nevada, Reno, como en la Universidad de Louisville.

Colabora con colegas de la Universidad de Florida Central y la Universidad de Nevada, Reno, en las aplicaciones de la lógica difusa para dilucidar las complejidades de la ascendencia biológica. Su trabajo tiene implicaciones tanto en bioarqueología como en antropología forense. Publica y presenta activamente su investigación en conferencias nacionales dentro de los Estados Unidos.

Es asistente editorial de la revista Dental Anthropology, es miembro de Dental Anthropology Association, American Association of Physical Anthropologists, American Anthropological Association, the American Academy of Forensic Sciences y del Northern Nevada Disaster Victim Recovery Team.



### Donovan M. Adams

donovan.adams@ucf.edu

Es profesor asistente en el Departamento de Antropología de la University of Central Florida. Ph.D. en Antropología en 2020 por la University of Nevada, Reno. Su investigación bioarqueológica se centra en evaluar los procesos demográficos y culturales de la Early Bronze Age en Anatolia a través del análisis de biodistancias de caracteres dentales. En particular, está interesado en la construcción de identidades comunitarias durante este período.

Su investigación forense aborda métodos teóricos y cuantitativos sólidos para la construcción del perfil biológico (incluida la aplicación de las fuzzy logic techniques), así como comprender el uso indebido de la investigación antropológica por parte de extremistas raciales.

Ha publicado sobre temas relacionados con la variación morfológica y métrica dental y su aplicación en la identificación forense, así como análisis de la estimación de ancestría en varias revistas revisadas por pares, incluida la American Journal of Physical Anthropology, Journal of Forensic Sciences, International Journal of Legal Medicine, Dental Anthropology, y Forensic Anthropology.



### Kelly Kamnikar

kamnikar@msu.edu

Es candidata a doctora en el Departamento de Antropología de la Universidad Estatal de Michigan. Se especializa en antropología forense y sus intereses de investigación incluyen la estimación de la edad, la estimación de la ascendencia, la variación humana y las aplicaciones humanitarias de los métodos antropológicos forenses.

Su investigación examina el refinamiento de las categorías de ancestría para la identificación de migrantes no identificados a lo largo de la frontera entre Estados Unidos y México.



### Amber Plemons

plemonsa@msu.edu

Es candidata a doctora en Antropología Biológica con énfasis en antropología forense. Sus intereses de investigación incluyen la variación y adaptación humana, restos fragmentarios y mezclados, antropología dental y métodos de estimación de perfiles biológicos.

El foco de su investigación es la influencia de la genética y el clima en la morfología craneofacial humana para examinar las fuerzas evolutivas y ecogeográficas de la variación humana.



### Micayla Spiros

spirosmi@msu.edu

Es candidata a doctora en Antropología Biológica en el Departamento de Antropología de la Universidad Estatal de Michigan.

Se especializa en antropología forense con un enfoque en la ontogenia de las variaciones postcraneales examinando las interacciones del estatus socioeconómico, la plasticidad, la ancestría y la edad en un marco estadístico sólido. Sus intereses de investigación incluyen la variación humana, la estimación de la ancestría y el sesgo cognitivo en las ciencias forenses.

---



### Joseph T Hefner

hefnerj1@msu.edu

Es profesor asistente de antropología, especializado en antropología forense y métodos cuantitativos, con intereses en antropología forense que incluyen la estimación de la ascendencia utilizando rasgos macromorfoscópicos, métodos métricos y no métricos craneales y poscraneales.

El enfoque de su investigación es la estandarización y cuantificación de rasgos macromorfoscópicos con estadísticas de clasificación robustas, incluidas técnicas de minería de datos (*data mining*) y métodos de aprendizaje automático (*machine learning*).

---



### Gerardo Valenzuela Jiménez

gerardo\_valenzuela@inah.gob.mx

Es profesor investigador titular "C" del Instituto Nacional de Antropología e Historia, adscrito a la Escuela de Antropología e Historia del Norte de México, Chihuahua, Chihuahua, así como consultor externo de la Unidad Especializada en Investigación de Femicidios y Delitos de Género de la Fiscalía General del Estado.

Es licenciado en Antropología Física por parte de la ENAH y maestro en Antropología por el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. De noviembre de 2013 a diciembre 2018 fue coordinador académico de la maestría en Antropología Física de la Escuela de Antropología e Historia del Norte de México y, de 2010 a agosto de 2013 fue profesor investigador en el Centro INAH Zacatecas.

Es autor de diversas publicaciones científicas, congresista en múltiples foros nacionales e internacionales, ha participado como profesor en diplomados de antropología forense de la Coordinación Nacional de Antropología del INAH y como docente en cursos de actualización para personal de Servicios Periciales de los estados de Chihuahua y Morelos.

Su línea de investigación está enfocada en la osteología antropológica en poblaciones prehispánicas y contemporáneas y, antropología física forense.



### **Aurora Marcela Pérez Flórez**

auroramarcelperez@gmail.com

Es licenciada en Biología, maestra en Antropología Física y candidata a doctora en Antropología Física por la Escuela Nacional de Antropología e Historia. Sus principales áreas de interés son: los traumatismos óseos y el análisis de la violencia en poblaciones antiguas y contemporáneas.

Se ha capacitado en el análisis de traumatismos óseos mediante estancias de investigación en el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses en Bogotá, Colombia y en el Instituto de Ciencias Forenses de la CDMX.

Asimismo, ha realizado diferentes cursos especializados en trauma óseo bajo la tutoría del Dr. Steven Symes en la Universidad de Mercyhurst en Pensilvania, Estados Unidos, y del Dr. Francisco Etxeberria en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Actualmente, trabaja como asesora técnica forense para la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable dentro del programa "Fortalecimiento del Estado de Derecho en México" (FED), programa financiado por el Ministerio Federal de Relaciones Exteriores de Alemania (AA), y es docente en la especialidad de Antropología Forense en la Escuela Nacional de Antropología e Historia.



### **Lourdes Márquez Morfín**

rlmorfín@gmail.com

Obtuvo la licenciatura en Antropología Física en la Escuela Nacional de Antropología e Historia en 1979. Es doctora en Historia por El Colegio de México (1991). Actualmente es profesora del posgrado en Antropología Física de la ENAH, del cual fue fundadora. Desarrolla la línea de generación del conocimiento (LGE) y especialización de Bioarqueología y Antropología Forense (LE).

Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), nivel III. Ha recibido varias distinciones académicas: Profesora de Investigación Científica y Docencia Titular "Emérito" del Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2015. Member of Advisory Council de la Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research. Profesor visitante en el Centro de Estudios Latinoamericanos de la Universidad de Pittsburgh, Pensilvania.

Fue titular de la Dirección de Antropología Física del INAH (1992-1994). Coordinadora de la sección de antropología física en los Centros INAH Yucatán, Morelos y Oaxaca. Ha publicado decenas de artículos en revistas de reconocido prestigio, así como varios libros en torno a la bioarqueología en México.

Otra línea importante de investigación ha sido la de las pandemias, endemias y epidemias en México, con dos obras relevantes: Las epidemias de cólera y tifo en la Ciudad de México y un libro en prensa sobre la epidemia de influenza en 1918. Fue creadora en 1996 del Laboratorio de Bioarqueología del posgrado de la ENAH, del cual es responsable académica. Ha sido directora de múltiples tesis de licenciatura, maestría y doctorado en la ENAH. Ha coordinado diversos proyectos colectivos e interdisciplinarios.



### **Albertina Ortega Palma**

tinaorpa@hotmail.com

Es profesora investigadora tiempo completo del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), adscrita a la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH).

Antropóloga física egresada de la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH), maestra en Ciencias Penales con especialización en Criminalística por el Instituto Nacional de Ciencias Penales (INACIPE). Candidata a doctora en Antropología Forense en la Universidad de Coimbra, Portugal.

Responsable académica del Laboratorio de Osteología de la Licenciatura en Antropología Física de la ENAH. Fundadora, coordinadora y docente de la especialidad en Antropología Forense de la ENAH. Ha impartido talleres de búsqueda e identificación humana a familias y colectivos de personas en búsqueda de sus desaparecidos. Brindado asesoría y peritajes en instituciones procuradoras de justicia. Artículos publicados en Forensic Science International, Dimensión Antropológica, Antropología Nueva Época, Cuicuilco, y ha elaborado capítulos para libros en las temáticas de osteopatología forense, ancestría, identificación humana, antropología forense y patrimonio.



### **Jesús A. Luy Quijada**

jesusluyq@gmail.com

Antropólogo físico. Se desempeñó como perito en antropología y perito en jefe en Servicios Periciales de la Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México (1985-2018 retirado).

Ha colaborado como docente con el Instituto Nacional de Antropología e Historia y la Escuela Nacional de Antropología e Historia, Instituto Nacional de Ciencias Penales, Escuela de Graduados en Sanidad, entre otras instituciones.

Sus principales líneas de interés son la antropología forense, la variabilidad humana y morfología facial, tafonomía, historia y filosofía de las ciencias, sobre las que ha publicado y participado como ponente en reuniones nacionales e internacionales.

Miembro de la Comisión Científica y Técnica del Proyecto "Cara del Mexicano" UNAM-PGJDF. Miembro fundador de la Asociación Latinoamericana de Antropología Forense. Académico de Número y, actualmente Secretario, en el Consejo Directivo de la Academia Mexicana de Criminalística.



### **Amaya Gorostiza**

agorostiza@genomica.com

Directora del Laboratorio de Identificación Genética de GENOMICA, Grupo Pharma Mar, donde se incorporó en septiembre de 2006 como responsable del área de genética forense PDD del IESE Business School.

Desde septiembre de 2011 es profesora en el master de Ciencias Forenses y Criminalística, Instituto de Ciencias Forenses y de la Seguridad (ICFS), Universidad Autónoma de Madrid, y profesora asociada en la Universidad Complutense de Madrid. Trabajó en el Departamento de Medicina Legal y Forense, Universidad de Barcelona.

Ha sido profesora contratada en la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH), México. Realizó estancias de investigación en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Es licenciada en Biología por la Universidad de Barcelona y doctora en Biología por la Universidad Complutense de Madrid.



### **Sonsoles Rueda**

srueda@genomica.com

Licenciada en Farmacia por la Universidad Complutense de Madrid en 1995. Realizó su tesis doctoral en la misma Universidad y en el Centro Nacional de Biotecnología (CSIC) trabajando con técnicas de biología molecular.

Desde el laboratorio de investigación se incorpora a GENOMICA en 2002 como responsable de Producción de la línea de kits de diagnóstico in vitro (IVD). Es en esta empresa donde ha desarrollado su carrera profesional, desempeñado diferentes posiciones, tales como Gestión de Calidad, la Dirección Técnica, donde se engloban las áreas de Identificación Genética, la de Asuntos Regulatorios y la de Servicio de Asistencia Técnica de equipos, y por último la Dirección de Producción de todos los productos que la compañía comercializa.



### **Rosario Cospedal**

rcospedal@genomica.com

Licenciada en Farmacia por la Universidad Complutense de Madrid y doctora en Bioquímica por la Universidad de Londres. Estancia post-doctoral en el Collège de France de París. PDD del IESE Business School. Responsable de Estudio y Análisis de Mercado para Europa Occidental en IMS HEALTH.

Desde junio de 2001 forma parte de GENOMICA, donde fue directora de I+D y directora técnica, asumiendo en 2006 la Dirección General de la compañía. Premio Nacional de Biotecnología 2010 y Máster de Oro del Real Forum de Alta Dirección, 2012.





### Caio Cesar Silva de Cerqueira

splicinginminds@gmail.com

Licenciado en Ciencias Biológicas con énfasis en Genética en la Universidad Estatal del Sudoeste de Bahía (UESB, ciudad de Jequié/BA), maestría y doctorado en Genética y Biología Molecular en la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS, ciudad de Porto Alegre/RS).

Tiene amplia experiencia en el estudio de variantes genéticas normales y patológicas en el genoma humano, con posible aplicación en genética médica y genética forense. Realizó posdoctorado en el Centro Nacional Patagónico (CENPAT/ CONICET, ciudad de Puerto Madryn, Argentina), con una pasantía en la University College London (UCL, London/UK), donde trabajó con un equipo multidisciplinario para desarrollar un chip que permita predecir características físicas a través del análisis de ADN para uso forense.

Actualmente ocupa el cargo de perito forense en el Instituto de Criminalística de la Superintendencia de Policía Técnico-Científica del Estado de São Paulo, actuando en diversas escenas del crimen (hurtos, daños, delitos ambientales, homicidios, suicidios, incendios, accidentes de tránsito, realización de análisis de toxicología forense sobre narcóticos - THC y Cocaína/Crack, etc.), y también examina diversas armas, municiones y otras piezas relacionadas con hechos delictivos. Ya ha emitido más de 1.700 informes periciales en las áreas mencionadas. Es creador del sitio web: [www.operito.com.br](http://www.operito.com.br).



### Celia Cintas

cintas.celia@gmail.com

Es investigadora en Ciencias de la Computación, especializada en Inteligencia Artificial. Previamente, becaria del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) trabajando en Deep Learning y Morfometría Geométrica para estudios de poblaciones en el LCI-UNS e IPCSH-CONICET (Argentina) como parte del Consorcio de Análisis de la Diversidad y Evolución de América Latina (CANDELA).

Luego de su doctorado, fue investigadora visitante postdoctoral en la Universidad de Jaén (España) donde trabajó en aprendizaje automático aplicado a los estudios de patrimonio y arqueología.

Es doctora en Ciencias de la Computación por la Universidad del Sur (Argentina). Co-chair de varias conferencias de Scipy Latinamerica.



### Claudio Delrieux

cad@uns.edu.ar

Es profesor titular del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras de la Universidad Nacional del Sur (UNS), e Investigador Independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET).

Su especialidad es el procesamiento de imágenes en todas sus modalidades y aplicaciones. Dirige actualmente el Laboratorio de Ciencias de las Imágenes (UNS-CONICET), y el Programa Interinstitucional de Doctorado en Imágenes Médicas (que convoca a tres de las principales universidades nacionales en Argentina).

Ha publicado más de 85 artículos indexados (Scopus) y ha impartido más de 100 presentaciones en conferencias internacionales de la especialidad. Ha dirigido 16 tesis doctorales en los programas de doctorado de más alta acreditación de Argentina (en Ingeniería Eléctrica y en Ciencias de la Computación). Ha dirigido más de 20 becarios doctorales y posdoctorales del CONICET, así como a 7 investigadores asistentes.

---



### Pablo Navarro

pablo1n7@gmail.com

Es Licenciado en Sistemas orientado a la planificación, gestión y control de proyectos informáticos por la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco sede Trelew-Chubut (2015).

Desde 2016 es becario doctoral CONICET y alumno de doctorado en Ingeniería (mención en procesamiento de señales e imágenes) en la UTN de Buenos Aires. Su tema de tesis está enfocado a la investigación y desarrollo de algoritmos de alta eficiencia para la asociación fenotipo-genotipo y aplicaciones en reconstrucción morfométrica 3D, medicina y ciencia forense.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco es auxiliar de primera de la asignatura Fundamentos teóricos de la informática. Forma parte del Instituto Patagónico de Ciencias Sociales y Humanas (IPCSH), del Grupo de Investigación en Biología Humana (GIBEH) y de la organización Patagonia Python Meetup.

---



### Víctor Acuña

victor\_acuna@inah.gob.mx

Antropólogo especializado en el estudio de la evolución y la historia de las poblaciones humanas a partir de su variabilidad genética. Es profesor de tiempo completo del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) donde imparte cursos de genética.

Su trabajo en investigación se ha enfocado principalmente al estudio de la variación biológica en poblaciones de Latinoamérica, con especial dedicación al análisis de la variabilidad inmunogenética, la herencia biológica africana en México, el estudio de características multifactoriales y la evolución reciente de las poblaciones humanas en el continente americano. Su contribución a estas temáticas se ve reflejada en alrededor de 50 publicaciones científicas en revistas arbitradas.

Actualmente trabaja en proyectos de divulgación como las exposiciones itinerantes "Maíz el Alma Indígena de México", "Genómica y Evolución Humana" y el proyecto "Mosaico genético: una mirada desde las artes".



### **Rolando Gonzalez José**

rolando@cenpat-conicet.gob.ar

Investigador principal del CONICET (Argentina) y director del Centro Nacional Patagónico (CCT-CONICET-CENPAT). Se graduó de biólogo en la Universidad Nacional de la Patagonia en 1998, realizó su doctorado en Biología Humana en la Universidad de Barcelona, España, obteniendo su titulación en 2003.

En 2004, y luego de realizar estancias posdoctorales en Harvard, México y Brasil, regresa a Argentina en el marco del programa de repatriación de científicos RAI-CES, impulsado por el presidente Néstor Kirchner. Desde entonces fue becario e investigador asistente, adjunto, independiente y principal del CONICET.

Entre 2008 y 2014 fue vicedirector del Centro Nacional Patagónico, fue director del mismo centro entre 2014 y 2016, y director del Instituto Patagónico de Ciencias Sociales y Humanas entre 2016 y 2020. Fue presidente de la Asociación Argentina de Antropología Biológica entre 2009 y 2011, y vicepresidente de la Asociación Latinoamericana de Antropología Biológica (entre 2013 y 2015).

Recibió el Premio Houssay en Ciencias Sociales, edición 2016, y el Premio Democracia (Centro Cultural Caras y Caretas) en el 2019, como integrante del grupo CyTA (Ciencia y Técnica Argentina).



### **Carla Gallo**

carla.gallo@upch.pe

Profesora principal de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH). Directora de la Unidad de Neurobiología Molecular y Genética, codirectora de la Unidad de Bioquímica y Biofísica de Membranas (Laboratorios de Investigación y Desarrollo, UPCH). Directora adjunta del Centro Universitario de Investigación y Desarrollo en Salud Mental de la UPCH. Investigadora del Registro Nacional Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (RENACYT).

Cuenta con formación académica en biología, bioquímica y biología molecular. Cursos y pasantías en instituciones extranjeras, en neurociencia, biofísica, membranas biológicas, biología celular y genética. Ha recibido financiación para estudiar factores ambientales involucrados en el primer episodio de psicosis y para el descubrimiento de fármacos neuroactivos a partir de plantas nativas del Perú. Ha contribuido al mapeo de la investigación en trastornos mentales y neurológicos en países de bajos y medianos recursos.

Participa en consorcios internacionales para el estudio de la variación genética humana. Interviene en el establecimiento de prioridades para la investigación en psiquiatría y salud mental a nivel nacional e internacional. Colabora en un proyecto del Banco Mundial para el estudio de la relación entre la genética, el estrés y el bienestar.



### Guiovanni Poletti

giovanni.poletti@upch.pe

Profesor auxiliar de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH). Director del Laboratorio de Bioquímica de Membranas y codirector del Laboratorio de Neurobiología Molecular y Genética (Laboratorios de Investigación y Desarrollo, UPCH). Investigador del Registro Nacional Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (RENACYT).

Tiene formación académica en biología, bioquímica y biología molecular. Ha seguido cursos de educación continua en el Centro Internacional de Física Teórica (Italia) en el área de neurociencias, y ha realizado pasantías de investigación en el área de bioquímica de las membranas biológicas en la Universidad Nacional de Rosario (Argentina).

Ha colaborado en una serie de proyectos de investigación en el área de biología de los trastornos mentales y la promoción de investigación en esta área. Además, colabora en los esfuerzos internacionales para el estudio de la variación genética humana.

Tiene amplia experiencia en métodos analíticos, entre ellos el análisis de sustancias tóxicas y el monitoreo de drogas. Ha sido consultor para la industria farmacéutica, la industria alimentaria y en el área de bioquímica clínica. En la actualidad es consultor para el Banco Mundial en el estudio de la relación entre genética, estrés y bienestar.



### Francisco Rothhammer

francisorothhammer@gmail.com

Cirujano Dentista por la Universidad de Chile, 1974. Doctor en Ciencias Naturales por la Universidad de Chile, 1977. Becario del National Institute of Health, Escuela de Medicina de la Universidad de Michigan, 1973 -1976. Premio Academia de Estudios Profesor Alfonso Leng, Facultad de Odontología, Universidad de Chile, 1985. Becario de la Fundación Guggenheim, 1986. Medalla Sesquicentenario, Universidad de Chile, 1992. Miembro de número de la Academia de Ciencias del Instituto de Chile, 1994. Miembro de la Academia de Ciencias de América Latina (ACAL), 1996. Medalla a la Excelencia Académica, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, 2007 – 2009. Premio Nacional de Ciencias Naturales, 2016. Premio Elmer Best Memorial Award 2018 (Premio Internacional).

Actualmente es profesor honorario de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y jefe del Laboratorio de Genómica de Poblaciones Andinas del Instituto de Alta Investigación de la Universidad de Tarapacá en Arica y representante en Chile del proyecto CANDELA, el cual es un proyecto internacional que busca identificar la ancestría y acervo genético en Latino América. Su acervo de publicaciones científicas a la fecha supera los 380 trabajos y más de 8 libros publicados.



### **Gabriel Bedoya**

gabriel.bedoya@udea.edu.co; bedoya.g@gmail.com

Bachiller, colegio La Salle de Envigado, Antioquia, Colombia; licenciado en Biología y química, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, magíster en Biología, área Genética, Universidad de Antioquia; profesor de la Universidad de Caldas, Colombia; profesor titular, Universidad de Antioquia; investigador Emérito de Colciencias (Ministerio de Ciencia y Tecnología de Colombia, desde 2016)

---



### **Andres Ruiz Linares**

andres.ruiz-linares@cantab.net

Es médico por la Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia. Máster en Bioquímica por la Université de Paris y doctor en Genética por la University of Cambridge.

Actualmente es profesor honorario de Genética, Evolución y Medio Ambiente de la University College London, Reino Unido y profesor investigador visitante distinguido del Ministerio de Educación. Laboratorio Clave de Antropología Contemporánea e Innovación Colaborativa, Centro de Genética y Desarrollo, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Fudan en Shanghai, China.

---



### **Lumila P. Menéndez**

lumilam@gmail.com

Antropóloga bióloga especializada en el estudio de la evolución humana y la diversidad biocultural en las Américas. Realizó sus estudios en la Universidad Nacional de La Plata (Argentina), seguidos de estancias postdoctorales en la Universidad de Tubinga (Alemania) y en el Instituto Konrad Lorenz (Austria). En la actualidad desarrolla sus investigaciones en la Universidad de Bonn (Alemania) y en la Universidad de Viena (Austria), donde dirige proyectos que apuntan a desarrollar protocolos de antropología virtual para contribuir a la identificación humana en contextos forenses de México, y estudiar la variación esquelética humana en Sudamérica para evaluar la diversificación morfológica a lo largo del tiempo. Asimismo, colabora en proyectos que indagan la capacidad evolutiva del oído interno y medio en mamíferos y los procesos evolutivos que modelan la variación craneana en primates. Para esto, ha recibido financiamiento del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), la Fundación Wenner-Gren (WGF), y la Fundación Alemana para la Investigación Científica (DFG). Trabaja interdisciplinariamente con arqueólogos, genetistas, paleontólogos, lingüistas y filósofos de la biología.



### **Paula N. González**

pgonzalez@fcnym.unlp.edu.ar; paulan.gonza@gmail.com

Investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina y docente en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (Universidad Nacional de La Plata). Desde el año 2002 ha realizado numerosas investigaciones en bioarqueología y antropología biológica. Tiene amplia experiencia en el estudio de restos óseos humanos de poblaciones prehistóricas y modernas, así como en el desarrollo de estudios experimentales. Sus trabajos se han orientado al estudio de los factores genéticos y ambientales que influyen en el desarrollo de rasgos morfológicos mediante la aplicación de técnicas morfométricas y de análisis de imágenes. Actualmente, se desempeña como directora del Instituto de Neurociencias y Sistemas Complejos (CONICET-HEC-UNA), donde estudia la variación neuroanatómica en poblaciones humanas y el efecto de la malnutrición en modelos animales.

---



### **Valeria Bernal**

bernal.valeria@gmail.com

Investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y docente de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (Universidad Nacional de La Plata). Su trabajo de investigación se desarrolla en el área de antropología desde el año 2002. Dirige trabajos de investigación en bioarqueología y arqueología abordando problemas biológicos y culturales de las poblaciones humanas del noroeste de la Patagonia, Argentina. En particular, las temáticas se vinculan con la demografía, ancestría, la ocupación del espacio y la dieta de las poblaciones de la región.

---



### **Sergio Ivan Perez**

ivanperezmorea@gmail.com

Investigador del CONICET y profesor en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (Universidad Nacional de La Plata). Investiga temas de antropología desde el año 2001 y ha dirigido trabajos de investigación en bioarqueología, arqueología, primatología, entre otros temas. En la actualidad desarrolla sus investigaciones en la División Antropología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (Universidad Nacional de La Plata), donde dirige proyectos de investigación en ecología humana y demografía de las poblaciones prehistóricas del noroeste de Patagonia, así como en la diversificación morfológica de varios clados de Primates. En los últimos años ha centrado sus estudios en poblaciones humanas Patagónicas en el área bio-arqueología y demografía humana empleando datos esqueletales y moleculares, en análisis paleo-dietario a partir del estudio de isótopos estables, y en el análisis de redes tróficas del pasado y de paleo-distribución de especies.



### **Ivet Gil Chavarría**

ivetgil@cienciaforense.facmed.unam.mx

Cirujana Dentista, maestra y doctora en Ciencias con mención honorífica en la UNAM. Realizó dos estancias posdoctorales, una en el Instituto de Ciencias Físicas, UNAM, en Cuernavaca, Morelos, y otra en el College of Dentistry, New York University (NYU). Distinguida en 2014 como Catedrática-CONACYT comisionada a la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina, UNAM. Actualmente, se dedica de tiempo completo a actividades docentes y de investigación en esa misma entidad. Es responsable del área de odontología en el Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF), colabora con otras disciplinas e instituciones para la formación de recursos humanos y para la generación de conocimiento y procesos científicos para la identificación humana. Ha publicado capítulos de libros, artículos de divulgación y científicos.

---



### **Patricia López Olvera**

patlopezolvera@unam.mx

Licenciada en Derecho por la Universidad Autónoma de Sinaloa, licenciada en Criminalística por el Instituto Tecnológico Superior de Sinaloa y maestra y doctora en Derecho por la Universidad Nacional Autónoma de México. En 2014 ingresó al Instituto de Investigaciones Jurídicas (IIJ) como ayudante de investigación y doctoranda. Actualmente es investigadora asociada de tiempo completo en ese mismo instituto, en las áreas de derecho procesal y epistemología jurídica, así como candidata a investigadora nacional por el Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Docente de las asignaturas: epistemología jurídica y metodología de la investigación jurídica, ambas en el Posgrado en Derecho de la UNAM. Ha realizado estancias de investigación en la Universidad de Salamanca en 2012 y en la Universidad de Edimburgo en 2017. Ganadora de los reconocimientos: “Dr. Raúl Cervantes Ahumada” 2018 otorgado por El Colegio de Sinaloa y el premio “Dr. Marcos Kaplan” 2020 por el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM a la mejor tesis del Doctorado en Derecho y Ciencias Sociales de la UNAM.



### Laura Alicia Espinosa Escobar

dra.lauraespinosa@gmail.com

Cirujana Dentista egresada de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, maestra en Estomatología Normativa y Forense por la Universidad del Valle de Toluca, diplomada en Ciencias Forenses por parte del entonces Instituto de Formación Profesional de la Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México, y en Evaluación Educativa por parte de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es doctorante en Educación en el campo de conocimiento de política educativa y gestión escolar en la Universidad Intercontinental.

Fue adjunta de perito criminalista particular y, posteriormente, perito en odontología en la entonces Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México. Es profesora y capacitadora en temas relacionados a la investigación forense y a la identificación humana, desempeñándose en distintas instituciones educativas, entre ellas, la Licenciatura en Ciencia Forense de la UNAM, en donde además formó parte de la Unidad de Docencia.

Actualmente se desempeña como directora de Consultoría Científica y Forense, en donde se desarrollan estrategias de investigación, en auxilio a distintas ramas del Derecho con estricto apego a los Derechos Humanos y con fundamentos científicos estableciendo parámetros nacionales e internacionales. Su visión profesional se concatena con la educación, el respeto y la no vulnerabilidad de los Derechos Humanos de las mujeres, de la comunidad LGBT+ y sobre los animales no humanos.



### Chantal Loyzance

chantal.loyzance@cienciaforense.facmed.unam.mx

Ingeniera Química titulada en la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, maestra en Investigación en las Ciencias Forenses, con especialidad en Criminalística y Técnicas Avanzadas en Ciencias Forenses por la Universidad Autónoma de Barcelona, además de diplomada en Criminalística por la UNAM.

Dentro de su formación ha participado en diferentes seminarios entre los que destacan: Policía Científica, Detección de la mentira, Valoración judicial de la prueba, Modelos de dictámenes periciales, Habilidades del perito, Peritaje de grafitis, Inteligencia civil y criminal.

Actualmente pertenece a la Licenciatura en Ciencia Forense (LCF) de la Facultad de Medicina de la UNAM, en donde desarrolla actividades de docencia e investigación entre las que destacan la coordinación de la línea de investigación en Dactiloscopia y lofoscopía, y colaboración en líneas de investigación en Antropología, Odontología Forense y Valoración de la Prueba Científica.

En actividades docentes participa de forma activa en la enseñanza de la dactiloscopia del científico forense.

Ha publicado capítulos de libro sobre temas relacionados con huellas dactilares e identificación humana, ha participado en eventos de divulgación científica como congresos nacionales, seminarios y simposios relacionados con las ciencias forenses, además de ser miembro de la Red de Ciencias Forenses de la UNAM.





### José Luis Silván Cárdenas

jsilvan@centrogeo.edu.mx

Investigador titular C del CentroGeo. Obtuvo el doctorado en Ciencias de Información Geográficas por la Universidad de Texas en 2009 y la maestría en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Procesamiento Digital de Imágenes por la UNAM en 2002.

Ha impartido cursos de percepción remota en la Universidad de Texas-San Marcos, la Universidad de Búfalo en Nueva York, la UNAM, el Colegio de México y el CentroGeo. Es coautor de más de 50 publicaciones entre artículos arbitrados, capítulos de libros y memorias de conferencias.

Sus temas de investigación están relacionados con la generación de información geográfica mediante el procesamiento de imágenes ópticas multiespectrales y láser aerotransportado (LiDAR) para aplicaciones forestales, urbanas y forenses.

Es receptor de varios reconocimientos tales como la medalla Alfonso Caso por la UNAM, el premio Warren Nystrom de la Asociación Americana de Geógrafos en 2011 y, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) desde 2012.



### León Felipe Dozal García

leon.dozal@gmail.com

Estudió Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Chihuahua II. Después, realizó sus estudios de maestría en Ciencias Computacionales en el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California, donde obtuvo el grado con la investigación titulada "Evolución de comportamientos básicos en un robot Pioneer P2-AT", obtuvo el grado de doctor en Ciencias Computacionales en la misma institución con el trabajo "Programación cerebral para la evolución de una ruta dorsal artificial" en el que desarrolló una variante de la programación genética llamada brain programming.

También realizó una estancia posdoctoral en la Universidad Complutense de Madrid con el proyecto "Procesamiento de imágenes y señales digitales usando algoritmos metaheurísticos".

Actualmente es investigador Cátedra-CONACYT en el Centro de Investigación en Ciencias de la Información Geoespacial (CentroGeo), donde realiza estudios que combinan técnicas de visión por computadora, percepción remota y programación genética.

Las principales líneas de investigación en las que trabaja actualmente son: detección de fosas clandestinas usando imágenes hiperespectrales, detección de plaga de insecto descortezador mediante el análisis de imágenes aéreas y reconocimiento de acciones humanas mediante el análisis de video.



### José Manuel Madrigal Gómez

jmadrigal@centrogeo.edu.mx

Biólogo, especialista en Geomática, pasante de maestría en Ciencias Agropecuarias de la UAM Xochimilco. Mi línea de investigación es percepción remota y análisis espacial con manejo de series de tiempo de imágenes de resolución media y alta, para determinar la fenología de la superficie terrestre y estrés hídrico en diferentes regiones de México y Centroamérica. Ha participado en proyectos de catastro y fotogrametría con drones y detección de fosas clandestinas con drones e imágenes de satélite.

Es integrante del Laboratorio de Análisis Territorial de Participación Comunitaria (COMULAB) en la línea de investigación Monitoreo comunitario con uso de drones con aplicaciones conjuntas con las comunidades y participa en el diseño y facilitación de talleres de cartografía participativa con aplicaciones en el territorio.



### Julio Roberto Chi Keb

roberto.chi@correo.uady.mx

Técnico académico titular "A" tiempo completo en el Laboratorio de Bioarqueología e Histología FC-UADY. Licenciado en Ciencias Antropológicas con especialidad en Arqueología por la Universidad Autónoma de Yucatán, en donde también acreditó la especialidad en Antropología Esquelética. Cuenta con maestría en Docencia Universitaria por el Centro de Estudios Superiores del Sureste. Su interés académico se centra en el estudio de la salud y enfermedad de poblaciones antiguas y modernas, así como la docencia para la divulgación y difusión de la arqueología.



### Vera Tiesler Blos

vtiesler@yahoo.com

Profesora investigadora titular y coordinadora del Laboratorio de Bioarqueología de la Universidad Autónoma de Yucatán. Licenciada en Historia del Arte por Tulane University, EEUU; licenciada y maestra en Arqueología por la Escuela Nacional de Antropología e Historia y se doctoró en Antropología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Realizó estudios adicionales de medicina.

Su interés académico y obra se centran en el lado humano del pasado mesoamericano y especialmente maya, tema que ella aborda desde los estudios de restos esqueléticos prehispánicos y coloniales.



### Raúl Alejandro López Pérez

rlopezale23@gmail.com

Licenciado en Arqueología por la Universidad Autónoma de Yucatán; estudiante de doctorado en Ciencias Antropológicas en la misma institución. Su interés académico concierne al estudio de la cultura material de asentamientos prehispánicos mayas, especialmente de los restos óseos humanos, con un énfasis en sus condiciones de vida, alimentación y salud-enfermedad.



### Allan Ortega Muñoz

allanortega@yahoo.com

Profesor investigador titular “C” de tiempo completo del INAH. Licenciado en Antropología Física por la Escuela Nacional de Antropología e Historia, maestro en Demografía y doctorado en Estudios en Población por El Colegio de México. Ha participado en proyectos tanto de sociedades contemporáneas (ecología humana) como prehispánicas, a través de la antropología esquelética y la demografía histórica. La línea de investigación de interés es la movilidad y las condiciones de vida de las poblaciones costeras, prehispánicas y contemporáneas de la península de Yucatán, donde la identidad es un aspecto fundamental a desarrollar.

---



### Eliana Maniaci

eliana.maniaci.em@gmail.com

Doctora por la Universitat de Valencia y la Universitat Politècnica de Valencia en España, donde se especializó en Antropología de la Muerte. Es asesora y profesora de Antropología de la Muerte y Antropología de la Violencia en el Instituto de Formación Profesional en Ciencias Forenses (IFPCF). Se tituló en Lenguas y Literaturas Extranjeras, y Lenguas y Literaturas Europeas y Panamericanas en la Università degli Studi di Bergamo (Italia).

Sus intereses de investigación se focalizan en las costumbres mortuorias y funerarias, las tipologías de muerte violenta, tortura y tratamiento del cuerpo.

---



### Eric García López

garcialopez@gmx.com

Miembro del SNI e investigador titular “C” en el Instituto Nacional de Ciencias Penales, donde coordinó la creación de los programas de maestría y doctorado en Psicopatología Forense.

Doctorado en Psicopatología Forense (*Summa Cum Laude* por unanimidad) y período académico del doctorado en Neurociencia por la Universidad Complutense de Madrid. Postdoctorado en Evolución y Cognición Humana (EvoCog-IFISC) en la Universitat de les Illes Balears. Los estudios de doctorado y postdoctorado fueron realizados gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Ha sido profesor titular en la Facultad de Medicina de la UNAM e investigador visitante del Instituto Max Planck (Alemania). Es autor y/o coautor de más de 100 publicaciones con evaluación por pares, así como coordinador y coautor de 14 libros especializados, entre ellos: *Fundamentos de Psicología Jurídica y Forense* (2010, Oxford University Press); *Psicopatología Forense. Comportamiento Humano y Tribunales de Justicia* (2014, Manual Moderno); *Derecho penal y Neurociencia* (2020, INACIPE), entre otros. Es profesor invitado de los posgrados en Psicopatología Forense en distintas universidades de Iberoamérica. Asimismo, forma parte del comité editorial del *Anuario de Psicología Jurídica* y es editor asociado de *Frontiers*, donde integra el equipo coordinador de los Research Topic sobre *Neurology and Neurorights*.



### Márcia Lika Hattori

marcia.hattori@gmail.com

Arqueóloga e investigadora colaboradora del Instituto de Ciencias del Patrimonio del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en España. Su investigación actual explora cómo persiste, en la burocracia y la gestión de los muertos, la desaparición de personas en São Paulo, Brasil, comparando la última dictadura y el período democrático.

Es licenciada en Historia y tiene una maestría en Arqueología, ambas por la Universidad de São Paulo, Brasil y especialidad en Antropología Forense aplicada a los Derechos Humanos. Su experiencia profesional previa en contextos forenses está relacionada con las búsquedas de desaparecidos de la última dictadura en Brasil en lugares como en la región amazónica y en el estado de Bahía como consultora del Ministerio de la Justicia y para la "Comissão Especial de Mortos e Desaparecidos Políticos". De 2013 a 2017 formó parte del grupo formado por diferentes instituciones gubernamentales brasileñas para la identificación de desaparecidos relacionados con la fosa común de Perus en la ciudad de São Paulo.

Trabajó en Etiopía en sitios arqueológicos relacionados con la invasión fascista italiana, en el norte de Portugal con proyectos relacionados con la memoria de la Guerrilla, y en España en proyectos relacionados con la Guerra Civil y la dictadura franquista.



### Roxana Enríquez Farias

r.enriquez@emaf.org.mx

Licenciada en Arqueología por la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH) y maestra en Geografía Humana por el Colegio de Michoacán. Ha colaborado y dirigido diversos proyectos de investigación, rescate y salvamento arqueológico del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Es egresada del doctorado en Antropología física en la Escuela Nacional de Antropología e Historia donde desarrolla una investigación acerca de la antropología forense aplicada a los casos de feminicidio en México.

Fungió como perito en antropología forense de la Fiscalía del Estado de Chihuahua en Ciudad Juárez, ha colaborado en investigaciones forenses con el Equipo Peruano de Antropología Forense en Perú y, fue consultora internacional forense del PNUD para el Proyecto de Identificación de la Fosa Perus en Brasil.

Es miembro fundadora y actual directora general del Equipo Mexicano de Antropología Forense, una asociación civil que acompaña investigaciones de desaparición forzada y otros delitos de lesa humanidad. Adicionalmente, labora como docente de asignatura en la Licenciatura en Antropología Física de la Escuela Nacional de Antropología e Historia y en la Licenciatura en Ciencia Forense de la Universidad Nacional Autónoma de México.



### **Diana Bustos Ríos**

d.rios@emaf.org.mx

Arqueóloga por la Escuela Nacional de Antropología e Historia en 2003, especializada en temas sobre extracción de ADN antiguo de materiales prehispánicos mayas y mexicas. Obtuvo su maestría en Antropología Física con una línea de investigación en antropología genética en 2016, por la UNAM. Es parte del consejo fundador del Equipo Mexicano de Antropología Forense. Egresada del doctorado en Antropología de la UNAM con el tema “El análisis de personas fallecidas no identificadas en el contexto de la desaparición forzada y la violencia en México”.

Como parte de su quehacer en el Equipo Mexicano de Antropología Forense ha impartido talleres para colectivos de familiares de víctimas de desaparición forzada y para instituciones académicas y de procuración de justicia sobre temas como el proceso integral de investigación forense y los aportes de la antropología en la investigación de delitos contra los derechos humanos.

---



### **Omar Arad Pérez Guzmán**

Arqueólogo egresado de la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH). Su trayectoria laboral y académica se enfocó en la evaluación y construcción de políticas públicas en diversas materias, tales como la protección del patrimonio arqueológico, la práctica de la antropología forense, los problemas socio-ambientales y las prácticas culturales.

Miembro del Equipo Mexicano de Antropología Forense, donde coordinó el área de investigación forense contribuyendo con diversas aportaciones metodológicas, entre ellas el diagnóstico de fosas comunes en panteones municipales.

---



### **Laura Corrales**

lcorralesblanco@outlook.com

Licenciada en Antropología Física en la Escuela Nacional de Antropología e Historia e historiadora por la Universidad Autónoma de Madrid. Además, es especialista en Antropología Forense por la Universidad Complutense de Madrid.

Se ha desempeñado como antropóloga forense, colaborando con distintos laboratorios e impartiendo cursos de métodos de identificación. Ha trabajado como asesora forense para el programa Fortalecimiento del Estado de Derecho en México de la Agencia de Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ). Su trabajo en México ha transcurrido en estados como la Ciudad de México, Tamaulipas, Chihuahua y Jalisco, entre otros. Es miembro de la Brigada de Rescate Topos Tlatelolco. Sus áreas de estudio se focalizan en la desaparición forzada, rescate de personas en situación de desastre y la identificación de personas fallecidas por medio de tatuajes y otras señas particulares.

Actualmente se encuentra realizando la maestría en Antropología Física en la Escuela Nacional de Antropología e Historia. Ha publicado en diversas revistas del medio, como *Forensic Anthropology and Rechtsmedizin*.



### Úrsula Juárez

ursula31016@gmail.com

Tesis de la Licenciatura en Antropología Física en la Escuela Nacional de Antropología e Historia con el tema: Estimación de talla por medio de extremidades aisladas. Realizó el curso intensivo Interpretación de las lesiones en el soporte esquelético a través de la Universidad del País Vasco; participación en el taller Antropología Forense: Tu búsqueda es mi búsqueda a través de la especialidad en Antropología Forense de la Escuela Nacional de Antropología e Historia; curso Herramientas para una búsqueda efectiva a través de la Red de Enlaces Nacionales, Comisión Nacional de los Derechos Humanos y el Instituto Mexicano de Derechos Humanos y Democracia; curso Cadena de custodia: preservación y procesamiento de indicios a través de la especialidad en Antropología Forense y el laboratorio de Osteología de la Escuela Nacional de Antropología e Historia; es miembro del área forense de la Brigada de Rescate Topos Tlatelolco; participó en la revista Arkeopatrias no. 20, Perdida y patrimonio, con el tema 19S el día en que la tierra se sacudió: la aplicación de la Antropología Física Forense en casos de desastres; participación en la VI Jornada de Antropología Física de la Escuela Nacional de Antropología e Historia; y actualmente es funcionaria pública del Gobierno de la CDMX.



### Leo Ortíz Ruiz

antropofis.leo.ortiz@gmail.com

Es responsable técnico del Laboratorio de Antropología Forense del Centro Regional de Identificación Humana, Saltillo, Coahuila; miembro del área forense de la Brigada de Rescate Topos Tlatelolco; docente de la clase de Identificación Fisionómica impartida en el Colegio Libre de Estudios Universitarios, campus Guadalajara; colaborador técnico del proyecto de investigación "Estudio tafonómico forense de restos humanos en contextos cementeriales de la Ciudad de México", en el Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM; participó como colaborador técnico en el Laboratorio de Antropología y Odontología Forense, Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM; colaboración en el "Proyecto NN: protocolos de identificación humana, colección osteológica nacional y base de datos de personas no identificadas y/o desaparecidas" 1602701-22, Conacyt; participación de búsqueda de personas desaparecidas en la Fiscalía General de Justicia del Estado de México/Chalco - ENAH y a través de la Brigada de Rescate Topos Tlatelolco en Xochimilco y Milpa Alta; publicación "El papel de la antropología forense en la identificación de personas, ante un posible caso de desastre masivo en México" para la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México (GIZ).

# S1

## Sección 1: Introducción

1. El Desarrollo de la Antropología Forense en América Latina **3**
2. Protocolo de Antropología Forense en México **10**





# 1

## El Desarrollo de la Antropología Forense en América Latina

Douglas H. Ubelaker<sup>1</sup>

Palabras clave: ciencia forense, historia, derechos humanos.

### RESUMEN

La antropología forense en América Latina ha sido desarrollada desde la consulta ocasional por médicos y especialistas en anatomía, y robustecido involucrando a antropólogos altamente capacitados y experimentados. Se lograron grandes avances mediante la formación de organizaciones como el EAAF (Equipo Argentino de Antropología Forense), la Asociación Latinoamericana de Antropología Forense; así también, la conformación de colecciones documentadas y la investigación realizada de estas. El progreso es marcado por muchas publicaciones y el número creciente de profesionales involucrados en las aplicaciones antropológicas.

### ABSTRACT

Forensic anthropology in Latin America has developed from occasional consultation by medical and anatomical specialists to a robust endeavor involving many highly-trained and experienced anthropologists. Major advances were achieved through formation of organizations such as the EAAF, development of the Forensic Anthropology Association of Latin America, as well as assemblage of documented collections and research conducted on them. Progress is marked by many publications and growing numbers of professionals involved in anthropological applications.

---

<sup>1</sup> Department of Anthropology, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, D.C. USA, 20560

## INTRODUCCIÓN

Las raíces académicas de la antropología forense se remontan desde de las contribuciones ocasionales en el ámbito legal por anatomistas y antropólogos biológicos. Científicos destacados como Aleš Hrdlička (1869-1943) de gran reputación en otras áreas, pero que también incluyeron sus contribuciones forenses. En particular Hrdlička como estudiante, estudió medicina legal dirigiendo autopsias y analizando casos de restos esqueléticos, más tarde publicó en temas forenses. El representó uno de los primeros consultores del FBI en Washington D.C. Aunque su trabajo forense no fue conocido en ese tiempo, representó uno de los primeros pioneros en lo que más tarde se conocería como antropología forense.

Los primeros trabajos de Hrdlička en antropología forense incluyeron casos de América Latina. En 1910, durante un viaje a Argentina respondió a una solicitud de asistencia del jefe de la policía en el Valle de Río Negro. Se habían recuperado algunos restos y se pensaba que posiblemente representaban a un rancharo local desaparecido. Hrdlička determinó que los restos eran de ancestría India muy antiguos y no la persona desaparecida que sospechaban (Ubelaker, 1999).

También en 1910 mientras estaba en Perú, a petición de su colega el Dr. Max Uhle examinó restos que se creía que representaban a Francisco Pizarro. Hrdlička notó que la edad del esqueleto no correspondía con la edad de muerte de Pizarro (Ubelaker, 1999).

Previo a la entrada de Hrdlička al campo de la Antropología Forense, otros anatomistas y antropólogos hicieron notables contribuciones. Jeffries Wyman (1813-1974) representó el primer curador del Museo Peabody de Arqueología y Etnografía de Estados Unidos en la Universidad de Harvard University en Boston, Massachusetts. Aunque la ciencia forense no fue su principal interés académico como varios otros colegas de ese tiempo, se sintió atraído a la ciencia forense cuando se le solicitó contribuir en un caso local. El caso involucraba a un profesor universitario de química, acusado de asesinar a un destacado benefactor de Harvard por problemas financieros. Wyman testificó que los fragmentos quemados recuperados eran consistentes con los que faltaban en los restos recuperados de la víctima (Ubelaker, 2018).

Un ejemplo adicional y colorido de alto perfil, se relaciona con un juicio por homicidio en Chicago de 1897-98. En este caso, un fabricante local de salchichas, Adolph Luetgert, fue juzgado por el asesinato de su esposa. La investigación sugirió que después de su muerte, Luetgert había colocado el cuerpo de su esposa dentro de uno de los depósitos utilizados para hacer salchichas en la fábrica, en una solución rica en potasio. Posteriormente en la investigación se recuperaron de la tina pequeños fragmentos de hueso. Un antropólogo local, George A. Dorsey (1869-1931) del Museo de Historia Natural en Chicago fue llamado a analizar los fragmentos y testificar en el juicio (Stewart, 1978).

Si bien los ejemplos mencionados anteriormente fueron originados en el norte de Estados Unidos, indudablemente también se desarrollaron situaciones similares en América Latina. Profesores y especialistas médicos con conocimiento de anatomía humana representaron opciones lógicas para que los fiscales e investigadores de la policía recurrieran a ellos cuando la evidencia era aparentemente un esqueleto. Alva-Rodríguez y Neri-Vela (2015) señalan que la primera autopsia se realizó en México fue a inicios de 1576. Las raíces de la antropología forense en México se relacionan con los estudios métricos craneales de prisioneros del siglo XIX (Alva-Rodríguez y Neri-Vela, 2015). En Chile, los casos forenses fueron manejados históricamente por médicos de la ciudad hasta que se desarrollaron mas centros formales académicos a principios del siglo XIX (Bustos Street y Intriago Leiva, 2015).

En Uruguay, Rodríguez Almada (2015) relata que durante el período colonial español, los exámenes médico-legales eran realizados por cirujanos. La primera autopsia en Uruguay se realizó en 1797 con un primer informe sobre el análisis de un esqueleto que data de 1760. La actividad médica legal en Argentina se relaciona estrechamente con la creación de la Universidad de Buenos Aires en 1821 (Fondebrider y Bosio, 2015) y la posterior formación (1826) de un curso de capacitación en medicina legal. Mientras que los especialistas médicos y anatomistas en la historia temprana de América Latina indudablemente registraron opiniones sobre restos óseos, la antropología forense era en gran parte desconocida y no reconocida en el sistema legal.

En 1984, la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia (AAAS siglas en inglés de American Association for the Advancement of Science) envió una delegación de científicos forenses a Argentina para ayudar a colegas locales en la recuperación e identificación de víctimas de desaparición forzada durante el período de dictadura militar en ese país desde 1976 hasta 1983 (Fondebrider y Bosio, 2015). El antropólogo forense Clyde C. Snow (1928-2014) se encontraba entre ese grupo. Snow se retiró en 1979 del Instituto de Aeromedicina Civil de la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos y trabajó como consultor en antropología forense, principalmente en los estados de Oklahoma e Illinois. En este viaje a Argentina, Snow proporcionó consultas y capacitación a colegas argentinos que se centraron en los problemas de recuperación e identificación.

Esta ayuda permitió la formación del Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF) en 1984. El EAAF inició a trabajar arduamente en temas de recuperación e identificación dentro de Argentina y abrió una nueva era altamente reconocida por la participación en antropología forense en América Latina. Para 1986, el EAAF expandió su consulta incluyendo a otros países para capacitación y trabajo de casos. En los años siguientes, el EAAF estableció una oficina en Nueva York e informó de su asistencia en Angola, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa de Marfil, Chipre, Chile, República Democrática del Congo, El Salvador, Etiopía, Guatemala, Honduras, Indonesia, Kenia, México, Marruecos, Namibia, Panamá, Paraguay, Filipinas, Rumania, Sierra Leona, Sudáfrica, Sudán, Togo, Uruguay, Venezuela y Zimbabwe (Ubelaker, 2018). Fondebrider (2016) informa que el equipo también ha trabajado en Bosnia, Croacia, Georgia / Abkazia, Haití, Irak, Kosovo, Perú y Timor-Leste.

Siguiendo el liderazgo del EAAF, otros países de América Latina han establecido equipos de antropología forense, principalmente dirigidos a la recuperación e identificación de víctimas de violencia política. En Guatemala, la Fundación de Antropología Forense de Guatemala (FAFG) y el Centro de Antropología Forense y Ciencias Aplicadas (CAFCA) brindan servicios de antropología forense (Barker et al., 2016). En Perú, el Equipo Peruano de Antropología Forense (EPAF), el Centro Andino de Investigaciones Antropológicas Forense (CENIA) y el

Equipo Forense Especializado brindan atención antropológica a los casos.

En Colombia, el Equipo Colombiano Interdisciplinario de Trabajo Forense y Asistencia Psicosocial (EQUITAS) incluye antropólogos forenses (Guzmán y Sanabria Medina, 2016). En Chile, los antropólogos forenses trabajan en la Unidad Especial de Identificación Forense del Servicio Médico Legal (Ubelaker, 2018; Fondebrider, 2016; MacKinnon y Harrison, 2016; Bustos Streeter e Intriago Leiva, 2015). Como señalaron Rodríguez Zorro y Constantin (2015) en Colombia y Bustos Streeter e Intriago Leiva (2015) en Chile; se coordinan e integran el trabajo y la presentación de informes de antropólogos con colegas de otras especialidades forenses.

La formación de muchas organizaciones Latinoamericanas centradas en el uso de la antropología forense para la detección, recuperación y análisis de restos humanos, ha sido impulsada por familias de los desaparecidos y sus organizaciones. Las familias representan y participan directamente en muchas investigaciones y se les mantiene informados de los resultados y desarrollos forenses. La preocupación de los familiares ha llevado a varios niveles de separación a los equipos de antropología forense de los gobiernos de los países afectados.

Actualmente, en muchas áreas de América Latina las organizaciones incluyen de rutina el trabajo de antropólogos forenses en casos, especialmente aquellos que involucran restos humanos. En las últimas décadas, los antropólogos forenses latinoamericanos han adquirido una amplia experiencia, principalmente en relación con la detección, excavación y análisis de fosas comunes. Si bien esta experiencia y conocimientos han contribuido en gran medida a las investigaciones de casos en los países de América Latina, los antropólogos involucrados también han hecho más contribuciones globales. Como se mencionó anteriormente, el EAAF ha brindado asistencia forense en muchos países fuera de Argentina desde 1986. Los antropólogos forenses latinoamericanos también han aportado su amplia experiencia a la colaboración con otras organizaciones globales. Muchos de ellos han ayudado a la unidad forense del Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) en su trabajo en muchos países que necesitan acción humanitaria.

## ALAF

En 2003, se formó la Asociación Latinoamericana de Antropología Forense (ALAF) para proporcionar un marco organizacional para ayudar a quienes trabajan en el campo y la región. La característica de la organización es una reunión, a la que asisten muchos antropólogos forenses de diversos países para, discutir casos y presentar resultados de investigaciones. Actualmente, la ALAF ofrece un programa de certificación exitosa que requiere un examen, así como requisitos previos de educación y experiencia. Doce antropólogos forenses han sido certificados a través de este proceso.

## COLECCIONES E INVESTIGACIÓN

Muchos aspectos de la antropología forense claman por análisis para estándares específicos de poblaciones desarrolladas a partir de colecciones locales. Afortunadamente, algunas colecciones se están desarrollando en América Latina, promoviendo la investigación centrada en esos aspectos. Los ejemplos incluyen el desarrollo de las colecciones documentadas de restos humanos en Colombia. La Colección de referencia esquelética humana de la población colombiana moderna del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses en Bogotá consta de aproximadamente 600 esqueletos de personas de identidad conocida que vivieron entre 2005 y 2008 (Sanabria-Medina et al., 2016). También destacan la Colección Manuel da Silva Braga en Belém, Brasil (Cardoso, 2006), la Colección (peruana) Moderna de Santiago, Chile (Urzúa et al., 2008) y la colección de la Universidad Nacional Autónoma de México (Ubelaker, 2014). Ubelaker y Parra (2008) representan un ejemplo de nueva investigación en una muestra latinoamericana diseñada para mejorar la estimación de la edad adulta.

## PUBLICACIONES

La madurez de la antropología forense en América Latina está registrada en el creciente número de publicaciones escritas por antropólogos latinoamericanos o por otros relacionados con su trabajo.

Lo siguiente representa una muestra cronológicamente ordenada de dicha literatura.

En 1984, Snow et al. (1984) publicaron un relato de la visita de su equipo de siete miembros a Argentina. Esta consulta patrocinada por la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia se relacionó con la identificación de los “desaparecidos” en Argentina durante el período de la dictadura militar de 1976 a 1983. En este artículo, señalaron que 8.800 personas eran reportadas como desaparecidas desde 1975. La publicación resumió sus experiencias en Argentina y pidió acción por parte de la comunidad científica.

En 1986, John Verano publicó su análisis de un entierro masivo de personas mutiladas en Pacatnamu, Perú. Si bien esta muestra se originó en un contexto arqueológico, la publicación proporcionó lineamientos para la excavación y el análisis de fosas comunes similares de interés forense.

Skolnick (1992) presentó una descripción detallada de las actividades recientes de Clyde Snow y el equipo argentino. La publicación se centró en los abusos de los derechos humanos en diferentes países, incluidos los de América Latina. Ejemplos del trabajo del EAAF son publicados por el Equipo Argentino de Antropología Forense (2003; 2007).

En 2002, Corder y McKelvie publicaron su discusión sobre la necesidad de estándares internacionales como parte de los esfuerzos globales para identificar a las personas desaparecidas. Esta publicación incluyó el análisis de la historia de documentos clave, organizaciones y desarrollos, incluidos los de América Latina. Ellos señalaron la importancia de las iniciativas de las Naciones Unidas, incluida la aceptación del Protocolo de Minnesota y la formación de la Corte Penal Internacional. Más tarde, Corder y Tidball-Binz proporcionaron un resumen similar actualizado de los acontecimientos históricos.

Para el 2004, se había realizado el trabajo suficiente por parte de los antropólogos forenses en América Latina para permitir que Casallas y Piedrahita (2004) compararan experiencias en Argentina, Guatemala, Perú y Colombia. Si bien los enfoques antropológicos fueron similares, cada región presentó una historia y problemas distintos.

Steadman y Haglund (2005) presentaron su evaluación del alcance de las contribuciones antropológicas forenses para las investigaciones de derechos humanos. Su estudio incluyó información del EAAF en América Latina y señaló el

nivel de educación formal muy variable de los antropólogos forenses participantes.

La publicación del 2008 editada por Kimmerle y Baraybar (2008) presentó una extensa discusión sobre el trauma esquelético asociado con el abuso de los derechos humanos y los conflictos armados, incluidos como ejemplos de América Latina. En este volumen, Chacón et al. (2008) discuten los análisis relacionados con la desaparición, tortura y asesinato de nueve personas de Nebaj, Guatemala. Si bien muchas investigaciones de derechos humanos apuntan principalmente a la identificación, esta publicación documenta cómo también se pueden detectar pruebas de tortura y violencia. También en ese volumen, Cagigao y Lund (2008) presentan un caso interesante de un soldado chileno recuperado en Perú después de la Guerra del Pacífico. Todavía otro capítulo más de Ross y Suárez (2008) proporciona evidencia de tortura y lesiones traumáticas en restos humanos de Panamá. Baraybar y col. (2008) en el cual describen pruebas de tortura y ejecución extrajudicial en el altiplano peruano.

Olmo y col. (2009) proporcionan un análisis de una fosa común de Argentina. La tumba se origina en el cementerio de San Vicente en Córdoba.

Los antropólogos forenses deben relacionar y entender las leyes y regulaciones relevantes relacionadas con los restos humanos. Márquez-Grant y Fibiger (2011) proporcionaron una guía internacional para estos asuntos legales. La publicación se centró en el tratamiento de restos de contextos arqueológicos, pero también presentó información relacionada a investigaciones forenses.

El análisis de fosas comunes relacionadas con casos de derechos humanos puede ser complejo. Varas y Leiva (2012) resumieron los problemas encontrados en la evaluación de restos humanos mezclados de una fosa común en Chile. Los autores reconocen el valor de un enfoque multidisciplinario y la evaluación del trauma para la identificación.

Si bien gran parte del énfasis de la literatura está en la detección, excavación y recuperación de restos humanos, el testimonio de la corte también es importante. Stuesse (2013) presentó una discusión sobre la naturaleza y el impacto del trabajo antropológico en un ensayo de genocidio en Guatemala.

Por supuesto, México ha sido foco reciente de una considerable actividad antropológica en relación con personas desaparecidas. En 2016, Schwartz-Marin y Cruz-Santiago (2016) presentan las complejidades de la participación de las familias en la investigación. También en 2016, Anderson y Spradley llamaron la atención sobre el papel del antropólogo en la identificación de restos de migrantes en el suroeste de los Estados Unidos. Anderson y Spradley (2016) informan una identificación exitosa reciente, así como los problemas encontrados y la necesidad de comunicación internacional en tales casos.

## CONCLUSIONES

La antropología forense en América Latina ha madurado considerablemente en las últimas décadas. Gran parte de este progreso ha sido impulsado por la cooperación internacional, la comunicación y la presión interna de las familias de los desaparecidos. El progreso ha sido marcado por nuevas organizaciones en muchos países que incluyen especialidades antropológicas integradas por colegas bien capacitados y experimentados. Los antropólogos forenses latinoamericanos ahora tienen una organización internacional (ALAF) para mejorar la comunicación, así como un programa de certificación para promover la competencia. Las publicaciones ahora documentan aspectos de la experiencia y revelan nuevos resultados de investigación destinados específicamente a mejorar la calidad del trabajo en América Latina. La buena noticia es que la antropología forense sigue atrayendo a jóvenes profesionales inteligentes y dedicados al campo. Estos desarrollos sugieren que la antropología forense en América Latina continuará evolucionando y mejorando.

## REFERENCIAS CITADAS

- Alva-Rodríguez M, Neri-Vela R. 2015. The practice of forensic science in Mexico. In: Ubelaker DH, editor. *The global practice of forensic science*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. p 199-216.
- Anderson BE, Spradley MK. 2016. The role of the anthropologist in the identification of migrant remains in the American southwest. *Acad Forensic Path* 6:432-438.

- Argentine Forensic Anthropology Team. 2003. Annual report 2003. Buenos Aires, Argentina.
- Argentine Forensic Anthropology Team. 2007. 2007 mini annual report: covering the period between January to December 2006. Buenos Aires, Argentina.
- Baraybar JP, Cardoza CR, Parodi V. 2008. Case study 5.4: Torture and extra-judicial execution in the Peruvian highlands: Forensic investigation in a military base. In: Kimmerle EH, Baraybar JP. 2008. *Skeletal trauma: Identification of injuries resulting from human rights abuse and armed conflict*. Boca Raton: CRC Press. p 255-261.
- Barker C, Flavel A, Fernández CR. 2016. Forensic investigations in Guatemala: The continuing search for truth, justice, and the missing two decades after the peace accords. In: Blau S, Ubelaker DH, editors. *Handbook of forensic anthropology and archaeology*. Second edition. New York: Routledge. p 545-562.
- Bustos Street P, Intriago Leiva M. 2015. The Chilean Forensic Medical Service. In: Ubelaker DH, editor. *The global practice of forensic science*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. p 39-47.
- Cagigao ET, Lund M. 2008. Case study 8.2: The pacific war: a Chilean soldier found in cerro zig zag. In: Kimmerle EH, Baraybar JP, editors. *Skeletal trauma: identification of injuries resulting from human rights abuse and armed conflict*. Boca Raton: CRC Press. p 441-448.
- Cardoso, HFV. 2006. Brief communication: the collection of identified human skeletons housed at the Bocage Museum (National Museum of Natural History), Lisbon, Portugal. *Am J Phys Anthropol* 129:173-176.
- Casallas DA, Piedrahita JP. 2004. Antropología forense en el conflicto armado en el contexto latinoamericano. *Estudio comparativo Argentina, Guatemala, Perú y Colombia*. Maguaré 18:293-310.
- Chacón SC, Peccerelli FA, Diez LP, Fernández CR. 2008. Case study 6.1: disappearance, torture, and murder of nine individuals in a community of Nebaj, Guatemala. In: Kimmerle EH, Baraybar JP, editors. *Skeletal Trauma: identification of injuries resulting from human rights abuse and armed conflict*. Boca Raton: CRC Press. p 300-313.
- Cordner S, McKelvie H. 2002. Developing standards in international forensic work to identify missing persons. *International Review of the Red Cross* 84:867-884.
- Cordner S, Tidball-Binz M. 2017. Humanitarian forensic action – Its origins and future. *Forensic Sci Int* 279:65-71.
- Fondebrider L. 2016. The application of forensic anthropology to the investigation of cases of political violence: Perspectives from South America. In: Blau S, Ubelaker DH, editors. *Handbook of forensic anthropology and archaeology*. Second edition. New York: Routledge. p 65-74.
- Fondebrider L, Bosio L. 2015. The practice of forensic sciences in Argentina. In: Ubelaker DH, editor. *The global practice of forensic science*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. p 5-11.
- Guzmán A, Sanabria Medina C. 2016. The origin and development of forensic anthropology and archaeology in Colombia. In: Blau S, Ubelaker DH, editors. *Handbook of forensic anthropology and archaeology*. Second edition. New York: Routledge. p 75-93.
- Kimmerle EH, Baraybar JP. 2008. *Skeletal trauma: Identification of injuries resulting from human rights abuse and armed conflict*. Boca Raton: CRC Press.
- MacKinnon G, Harrison K. 2016. Forensic anthropology and archaeology in the United Kingdom: Are we nearly there yet? In: Blau S, Ubelaker DH, editors. *Handbook of forensic anthropology and archaeology*. Second edition. New York: Routledge. p 13-26.
- Márquez-Grant N, Fibiger L. 2011. *The routledge handbook of archaeological remains and legislation: An international guide to laws and practice in the excavation and treatment of archaeological human remains*. New York: Taylor & Francis.
- Olmo D, Ginarte A, Bisso C, Salado Puerto M, Fondebrider L. 2009. A mass grave in Argentina: the San Vicente cemetery in Córdoba. In: Steadman DW, editor. *Hard evidence: Case studies in forensic anthropology*. Second edition. New Jersey: Pearson Education Inc. p 321-331.
- Rodríguez Almada H. 2015. Legal medicine and forensic science in Uruguay. In: Ubelaker DH, editor. *The global practice of forensic science*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. p 335-349.
- Rodríguez Zorro A, Constantin AE. 2015. Forensic science in Colombia. In: Ubelaker DH, editor. *The global practice*

- of forensic science. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. p 49-66.
- Ross AH, Suarez S. L. 2008. Case study 8.1: Tyranny and torture in the Republic of Panama. In: Kimmerle EH, Baraybar JP, editors. *Skeletal trauma: Identification of injuries resulting from human rights abuse and armed conflict*. Boca Raton: CRC Press. p 438-440.
- Sanabria-Medina C, Gonzalez-Colmenares G, Restrepo HO, Rodríguez JM. 2016. A contemporary Colombian skeletal reference collection: A resource for the development of population specific standards. *Forensic Sci Int* 266: 577.e1-577.e4.
- Schwartz-Marin E, Cruz-Santiago. 2016. Pure corpses, dangerous citizens: Transgressing the boundaries between experts and mourners in the search for the disappeared in Mexico. *Soc Res* 83:483-510.
- Skolnick AA. 1992. Game's afoot in many lands for forensic scientists investigating most-extreme human rights abuses. *JAMA* 268:579-583.
- Snow CC, Tedeschi LG, Levine L, Orrego C, Lukash L, Stover E. 1984. The investigation of the human remains of the "disappeared" in Argentina. *Am J Forensic Med Pathol* 5:297-299.
- Steadman DW, Haglund WD. 2005. The scope of anthropological contributions to human rights investigations. *J Forensic Sci* 50:23-30.
- Stewart TD. 1978. George A. Dorsey's role in the Luetgert Case: A significant episode in the history of forensic anthropology. *J For Sciences* 23:786-791.
- Stuesse A. 2013. Si hubo genocidio: anthropologists and the genocide trial of Guatemala's Ríos Montt. *Am Anthropol* 115:658-666.
- Ubelaker DH. 1999. Aleš Hrdlička's role in the history of forensic anthropology. *J Forensic Sci* 44:724-730.
- Ubelaker DH. 2014. Osteology reference collections. In: *Encyclopedia of global archaeology*. New York: Springer. p 5632-5641.
- Ubelaker DH. 2018. A history of forensic anthropology. *Am J Phys Anthropol* 165:915-923.
- Ubelaker DH, Parra RC. 2008. Application of three dental methods of adult age estimation from intact single rooted teeth to a Peruvian sample. *J Forensic Sci* 53:608-611.
- Urzúa, CL, Balboa MR, Yermani RR, Lafonataine EA. 2008. Arqueología del depósito: manejo integral de las colecciones bioantropológicas en el Departamento de Antropología de la Universidad de Chile. *Conserva* 12:69-96.
- Varas CG, Leiva MI. 2012. Managing comingled remains from mass graves: Considerations, implications and recommendations from a human rights case in Chile. *Forensic Sci Int* 219: e19-e24.
- Verano JW. 1986. A mass burial of mutilated individuals at Pacatnamu. In: Donnan CB, Cock GA, editors. *The Pacatnamu papers*. Los Angeles: Museum of Cultural History, University of California, Los Angeles. p 117-138.

# 2

## Protocolo de Antropología Forense en México

**Mariel Guadalupe Durán Romero<sup>1</sup>**

**Yadira Yetzabel Reyna Hernández<sup>2</sup>**

**Omar Olivo del Olmo<sup>3</sup>**

**Matilde Margarita Domínguez Cornejo<sup>4</sup>**

Palabras clave: protocolo, antropología forense, homologación, contexto forense, identificación, metodologías.

### RESUMEN

Los protocolos de actuación fueron creados como una de las posibilidades de solución ante una situación de emergencia. Dan una serie de elementos específicos y establecen un plan concreto que es regulado jurídicamente y que orienta la actuación del personal.

Durante muchos años en México la práctica forense no fue regulada, fue hasta el año 2006, a partir de la declaración de la llamada *Guerra contra el narcotráfico*, que trajo como resultado la grave crisis humanitaria que se vive en la actualidad. Ante esto, y como respuesta a la presión social, sobre todo por parte de los colectivos de familiares de desaparecidos, es que surgen iniciativas para mejorar los mecanismos de búsqueda e identificación de personas. Entre las mejoras propuestas, es regular la práctica forense y profesionalizar todas sus áreas, entre ellas se encuentra la antropología forense; la cual, actualmente, se consolida como una disciplina independiente, con objetivos específicos, con un campo de estudio creciente y complejo en el contexto de nuestro país; lo que hace visible la necesidad de repensar los alcances y la práctica de la disciplina, así como la necesidad de la creación de un

---

1 Perito en Antropología, en la PGJE Tamaulipas.

2 Profesora investigadora en Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

3 Profesor investigador en Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

4 Estancia Posdoctoral en la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León (ENES), UNAM.



protocolo de actuación propio. Esto plantea nuevos retos, comenzando por la revisión y desarrollo de herramientas metodológicas, tanto para el trabajo de campo como para el análisis en laboratorio. Para ello, es indispensable abrir el diálogo entre la academia y los ejecutores del sistema de justicia que respondan de manera ética, profesional y con apego a los derechos humanos las exigencias y necesidades actuales; y donde la antropología forense no sólo apoya en el tema de la identificación humana de restos alterados o esqueletizados, sino también colabora en los diferentes procesos de la investigación.

## ABSTRACT

The action protocols were created as one of the possibilities of solution in an emergency situation. They give a series of specific elements and establish a concrete plan that is legally regulated and that guides the performance of the personnel. For many years in Mexico forensic practice was not regulated, until the year 2006 when the so-called war against drug trafficking was declared, which results in the serious humanitarian crisis that we live to this day. Given this and in response to social pressure, especially by the groups of relatives of the disappeared is that initiatives to improve the mechanisms of search and identification of people. Among the improvements that are proposed, it is mentioned to regulate the forensic practice and to professionalize all the areas among which is the Forensic Anthropology, which is currently consolidated as an independent discipline, with specific goals, with a growing and complex field of study in the context of our country, which makes visible the need to rethink the scope and practice of the discipline, as well as the need for the creation of a protocol for its own action. This poses new challenges, starting with the review and development of methodological tools, both for the field part and for the laboratory analysis that will give best support to the practice. For this, it is essential to open the dialogue between the academy and the operators, who will respond in an ethical, professional manner and in accordance with human rights to current demands and needs, where Forensic Anthropology not only supports the issue of human identification of altered or skeletonized remains, but also collaborating in the different processes of the investigation.

## INTRODUCCIÓN

En la última década, en México se han vivido situaciones de violencia extrema debido a varios factores, entre los que se encuentran las reestructuraciones del crimen organizado, las estrategias de seguridad pública que el gobierno federal siguió desde el año 2006 para abatirlo y las fallas en las mismas por desarrollarse en medio de la corrupción e impunidad.

El expresidente Felipe Calderón Hinojosa al declarar la “guerra contra el narcotráfico” justificó el uso del Ejército y de los recursos presupuestales para enfrentar al crimen organizado para “preservar el orden en el país” (Enciso, 2018). Esta política de seguridad ha traído graves consecuencias para la sociedad mexicana, que más que verse beneficiada por la presencia del ejército como un agente de seguridad pública, ha sido golpeada por el aumento de la violencia ejercida de distintas formas: detenciones arbitrarias, desapariciones forzadas, ejecuciones extrajudiciales, muertes violentas, tortura, violaciones sexuales, lesiones, extorsión, privación ilegal de la libertad, robo y allanamiento de morada, y, sobre todo, la ruptura del tejido social en

los estratos más vulnerables, perpetradas tanto por fuerzas de seguridad pública, miembros del crimen organizado y las instituciones castrenses, en muchos casos coludidos entre ellos.

Estas estrategias no son novedosas ni recientes, ya que durante la llamada “Guerra Sucia” de los años sesenta y setenta, las fuerzas de seguridad, incluyendo al Ejército, participaron en campañas sistemáticas de violencia contra los movimientos sociales progresivos. Lo mismo sucedió en la respuesta que el gobierno mexicano volcó hacia las actuaciones del Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN) en Chiapas en el año de 1994.

Cuando Enrique Peña Nieto tomó posesión de la presidencia en el año 2012, dio continuidad a las políticas calderonistas, por lo cual ha enfrentado acusaciones graves de ejecuciones extrajudiciales y desapariciones forzadas por parte de las fuerzas armadas; lo que ha puesto además en tela de juicio este uso del Ejército Nacional en tareas de seguridad pública. Con doce años de la aplicación de dicha estrategia de seguridad, la sociedad civil se ha organizado para dimensionar el problema, ante la incapacidad de

las instituciones gubernamentales de transparentar la crisis violenta que se vive en México.

Hoy en día, no se cuenta con una cifra oficial confiable de personas desaparecidas. Amnistía Internacional en su informe de 2017/2018 para México, indica que, en el año 2017, el número de personas desaparecidas era de 34 mil 656, de las cuales se desconoce su paradero; cifra conservadora que ha ido en aumento. Además, la cantidad de casos y la complejidad de estos trajeron como consecuencia que las instituciones gubernamentales se vieran rebasadas en cuanto a capacidades materiales, de recursos humanos y sobre todo de técnicas y metodologías de atención en todos sus niveles y procesos.

Aunado a lo anterior, en el país existen más de 150 mil muertos y 280 mil desplazados (Sánchez, 2017; Enciso, 2018) y de acuerdo al informe de la Oficina en Washington para Asuntos Latinoamericanos (WOLA por sus siglas en inglés) *Justicia Olvidada La impunidad de las violaciones a derechos humanos cometidas por soldados en México* (2017), entre los años 2012 y 2016 se iniciaron 505 investigaciones civiles contra soldados por delitos y violaciones a derechos humanos de acuerdo a cifras oficiales. Ante lo cual, la PGR inició 505 investigaciones de delitos y violaciones a derechos humanos cometidos por soldados mexicanos, pero sólo hay registro de que 16 recibieron sentencias condenatorias (WOLA, 2017).

Sumado a lo anterior, las organizaciones criminales siguen sus operaciones en distintas partes del territorio nacional, en ocasiones como un poder antagónico donde las fuerzas de seguridad del Estado Mexicano han perdido presencia y en otras ocasiones están coludidos con ellas. Inicialmente, se dedicaban al narcotráfico, en la actualidad han diversificado sus delitos hacia la trata y tráfico de personas, tráfico de órganos, desplazamientos forzados, aniquilación de cuerpos humanos e incluso el robo de combustible. Por lo general, actúan en zonas marginales de las ciudades y en regiones rurales con problemas sociales diversos, es decir, donde desafortunadamente existe poca presencia de las fuerzas de seguridad pública. Además, hay una serie de diversos factores que han provocado el crecimiento exponencial de peleas por las “plazas” entre

grupos rivales. Muchos de los llamados “cárteles de la droga” se fraccionaron al ser detenidos o abatidos sus líderes, lo cual ha provocado la segmentación de dichos grupos en diversas células que también pelean violentamente entre sí.

La diversificación de estas actividades criminales concluye casi siempre en asesinatos; donde, por lo general, son dos los destinos de las personas fallecidas: 1) El cuerpo alterado intencionalmente, que es utilizado como mensaje y expuesto en vías, puentes y plazas públicas y 2) El cuerpo es aniquilado, quemado, calcinado, incinerado, carbonizado, segmentado, disuelto en ácido<sup>5</sup> y arrojado en fosas clandestinas con fines de ocultamiento. Según el programa de Derechos Humanos de la Universidad Iberoamericana entre los años 2009 a 2014 fueron encontradas 390 fosas clandestinas con 1418 cuerpos y 5786 restos en 23 estados del país (PDHIBERO, 2017).

Lo anterior descrito, nos habla de la participación de distintos actores e instituciones en la ejecución de las distintas formas de violencia y violaciones a derechos humanos, hecho que complica el acceso a la justicia, a la verdad, a la no revictimización y a la no repetición de las víctimas indirectas.

Por otro lado, es importante mencionar que el sistema penal mexicano está pasando por una transición, de un sistema inquisitorio se transita hacia uno predominantemente acusatorio, que implica tres etapas supervisadas por un juez distinto: investigación, etapa intermedia y juicio oral (SCJ, 2018). En el sistema acusatorio, el ministerio público (MP) y la policía de investigación, tienen un papel preponderante para recopilar las pruebas para investigar la existencia de un delito y buscar al presunto responsable.

La implementación de este Nuevo Sistema de Justicia Penal no ha estado exenta de problemáticas, dado que se ha implementado con tiempos diferenciados en los distintos estados de la República Mexicana, y ha tenido poca aceptación por parte de los servidores públicos del sistema de justicia, quienes han tenido abundante - quizá, no adecuada- capacitación y actualización. Aún, faltan mecanismos de comunicación y colaboración entre las instancias e instituciones correspondientes para su implementación. Todo ello, aunado a la impunidad y corrupción

5 Un caso bastante sonado es del “pozolero”, quien confesó haber disuelto 300 cadáveres en sosa cáustica siguiendo órdenes del cartel de los hermanos Arellano Félix (Turati, 2015). Dicha práctica se sigue repitiendo, por ejemplo, en el caso de los tres estudiantes de Guadalajara que fueron secuestrados y disueltos en ácido al ser confundidos con miembros de un grupo rival al Cartel Jalisco Nueva Generación (Reina, 2018).

que impera en los cuerpos de seguridad pública y el poder judicial, han sido caldo de cultivo para que las víctimas de violaciones de derechos humanos sigan aumentando en el país, sin que existan estrategias de solución ante las crecientes y diversas demandas civiles.

Ante ello, la sociedad civil se ha organizado junto con instancias de derechos humanos, militares, políticos, víctimas indirectas, académicos (entre otros) para discutir acerca de cómo dar solución a las problemáticas emergentes a partir de la violencia extrema. Son voces antagónicas que buscan -entre muchas cosas- disminuir los altos índices de violencia y encontrar la estrategia más adecuada para retirar a las Fuerzas Armadas de las funciones de seguridad pública.

También se han formado diversos grupos como el Movimiento por nuestros desaparecidos en México<sup>6</sup>, Seguridad sin guerra<sup>7</sup> y Cadena de Mando<sup>8</sup>; quienes condensan distintas miradas de los actores que se han visto afectados por la llamada “Guerra contra el narcotráfico” y dan cuenta de la falta de acciones del Estado Mexicano para contrarrestar la crisis de derechos humanos en la que se encuentra el país y que ha llevado a recibir varias recomendaciones de la Comisión Interamericana de Derechos Humanos por casos emblemáticos como el de la desaparición forzada de 43 jóvenes estudiantes de la Normal Rural “Raúl Isidro Burgos” en el estado de Guerrero el 26 y 27 de septiembre de 2014; la matanza de 72 migrantes centroamericanos encontrados en San Fernando Tamaulipas o el caso de Tlatlaya, en el Estado de México, donde el Ejército Mexicano ejecutó extrajudicialmente a 22 presuntos delincuentes, entre muchos otros lamentables casos que han cimbrado a la opinión pública del país (CIDH, 2015).

Estas violaciones sistemáticas de derechos humanos han propiciado un reclamo por parte de la sociedad civil organizada para que el Estado Mexicano garantice la seguridad de la población, actúe y legisle para favorecer la no repetición y para que las víctimas tengan acceso a la verdad y a la justicia. Por ello ha surgido, además, la necesidad urgente de contar con los

protocolos adecuados de actuación que coadyuven en los procesos de búsqueda e identificación de las personas que se encuentran en fosas clandestinas en el país, particularmente en materia de antropología forense. Sin embargo, la antropología mexicana ha llegado tarde y con soluciones de corto o mediano alcance para incidir de manera eficiente en los casos de su competencia ante las necesidades y las demandas sociales.

## PROTOSCOLOS DE ACTUACIÓN: CONTEXTO FORENSE

Los protocolos de actuación son una respuesta a una situación de emergencia, dan una serie de elementos específicos que se establecen en un plan concreto que orienta la actuación del personal, y estos son regulados jurídicamente (Kast, 1979). En el caso de México se establece el desarrollo y aplicación de protocolos en materia forense en el *Código Nacional de Procedimientos Penales*; en la recientemente aprobada *Ley General de Víctimas*, cuya última reforma fue publicada el 03 de enero del 2017, y en la *Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas*, vigente desde el 17 de noviembre de 2017. En estos documentos legales, se menciona que la práctica forense debe de estar apegada a estándares internacionales mínimos. En caso de desaparición e identificación de personas es prioritario contar con protocolos debido a que es una emergencia nacional por el alto número de personas reportadas como desaparecidas en el país. Sea desaparición forzada o cometida por particulares, o en las diferentes formas de nombrarla en el ámbito jurídico actual, hace necesaria la creación de protocolos en materia de antropología forense tanto para la búsqueda como para identificación. Pero antes de entrar en el tema de los protocolos sobre identificación y de la protocolización de la práctica antropológica en nuestro país, es importante definir y entender que es un protocolo de actuación.

6 Lamentablemente son miles los familiares de personas desaparecidas en México. Para más información se puede consultar: <https://sinlasfamiliasno.org/>.

7 Varias organizaciones de la sociedad civil se unieron en contra de la Ley de Seguridad Interior y para propiciar una política de seguridad más integral sin el Ejército de por medio. Para más información se puede consultar: <https://www.seguridadsin-guerra.org/>.

8 Es una investigación que da cuenta de los militares que están acusados de homicidio al seguir ordenes de sus superiores, donde ponen en tela de juicio la cadena de mando del ejército. Para más información: <http://cadenademando.org/>.

¿A qué nos referimos con un protocolo de actuación? Para responder a esta pregunta, el punto de vista jurídico es fundamental para entender el propósito del documento; y cómo este, debe integrarse, ya que se inscribe dentro de regulaciones legales, lo cual le da su carácter de protocolo. Además de su estatus normativo, sirve de sustento para la operación, contribuye a fomentar y establecer una calidad técnica y jurídica, sobre todo en el proceso de procuración de justicia. La principal función del protocolo es poder orientar la actuación de una práctica, fomentando la homologación de esta.

Siguiendo con los puntos clave de un protocolo, este está dirigido a los operadores que realizan la actividad y por lo mismo debe de ser conciso y entendible para ellos. Tiene una normatividad, pero sobre todo un protocolo no es una buena práctica, porque de alguna forma reinventan el objeto de estudio, pero no resuelven el problema. Esto nos lleva a otra cuestión importante, ¿quién debe desarrollar un protocolo o quiénes deben estar involucrados en su desarrollo?

La respuesta es clara, por un lado, el metodólogo, y por el otro, alguien con la experiencia en la práctica a protocolizar, juntos le dan el equilibrio y sobre todo la utilidad necesaria al documento. El primero aporta la parte metodológica y teórica que le da sustento, mientras que el segundo, contribuye con su conocimiento y experiencia empírica en el tema, lo que asegura que esté apegado a las necesidades reales de la práctica profesional. Además, las aportaciones y participación de este último garantizan de alguna manera que el documento sea entendible para los usuarios, es decir, los operadores, ya que el metodólogo se puede perder en la teoría y no entender la práctica real (Larios, 1994).

Otro punto importante sobre el desarrollo de protocolos es que debe de existir un comité de revisión, que examine cada cierto tiempo su contenido, debido a que tiene un carácter perfecto, lo que es de esperarse de un documento que regula una práctica científica cambiante debido a los diferentes adelantos que se dan al interior de esta.

Sin embargo, existe una problemática en el tema de la implementación y homologación de los protocolos de actuación en la práctica. Es decir, existen, pero no se utilizan e incluso se desconoce su existencia, aun cuando lo marque y lo exija la ley. Respecto a la implementación, no hay un seguimiento a su utilización, dado que

en la mayoría de los casos se manda una circular a las instituciones operativas, donde se establece su uso obligatorio, pero nadie supervisa que esto suceda en la realidad. Además, muchas veces no resultan prácticos para el operador, o distan de ser una herramienta útil para su ejercicio profesional, por lo que no lo utilizan. Por ello, resulta importante que los operadores se involucren en su construcción para que realmente se logre la pretendida homologación de la práctica, que busca evitar la discrecionalidad en la actuación de los operadores y sobre todo el fomentar la profesionalización de esta (Larios, 1994).

Entonces, ¿qué es un protocolo? Es un documento público, que regula la función sustantiva de una práctica o actividad, de manera detallada se describe un procedimiento para la ejecución de un proceso. Y al hablar de la función sustantiva nos referimos a la acción que se piensa regular o protocolizar, la finalidad de esta, en el caso de la desaparición de personas, se debe de pensar como el fin u objetivo del procedimiento, lo que queremos lograr con una práctica homologada con base a un protocolo nacional.

De acuerdo con lo anterior, ¿el buscar, encontrar e identificar, sería la función sustantiva de un proceso de identificación? Desde nuestro punto de vista, la cuestión es encontrar y desarrollar un protocolo que oriente la actividad de cada una de las especialidades que forman parte del proceso de identificación que de cómo resultado un protocolo para cada especialidad. Por ello, es imprescindible que exista un protocolo enfocado a la práctica de la antropología forense en México que se sustente en protocolos internacionales y que dé cuenta de las especificidades de las distintas regiones de nuestro país; mismos que podrían formar guías de actuación específicas, sobre todo para los llamado casos complejos, los cuales son cada vez más comunes. El protocolo nacional debe de rescatar y centrarse en el papel único y específico que tiene, o debería de tener, la antropología dentro del contexto forense, y cómo los operadores de esta práctica deben de ejercer la misma. ¿Qué aporte metodológico ofrece la antropología dentro del contexto forense? Y el ¿por qué es necesaria la participación del antropólogo en los procesos de búsqueda e identificación?

Actualmente no sólo se piensa en un protocolo como un instrumento que guía el procedimiento, sino que además tiene la función de protección jurídica en la actuación, que de algu-

na manera respalda la labor del antropólogo, ya que es un documento legal que especifica las acciones mínimas a realizar con base a estándares internacionales.

Al hablar con los antropólogos forenses que se encuentran activos en las diferentes dependencias de procuración de justicia del país, todos coinciden en por lo menos tres puntos: 1) La necesidad de contar con un protocolo homologado propio para la disciplina; 2) el protocolo actual que se sigue en México no funciona o no se apega a los estándares mínimos que se manejan, sobre todo la parte metodológica que sustenta el quehacer antropológico; y 3) se necesita de una protección para la práctica profesional de la antropología forense. Este último punto es muy importante por el tipo de casos en los que se centra la intervención del antropólogo en México, donde en su mayoría se relacionan a violaciones graves a derechos humanos, desaparición forzada, ejecuciones extrajudiciales, etc. Esto remite hacia una responsabilidad directa por parte del Estado Mexicano, con casos que muchas ocasiones trasciendan el ámbito jurídico local y que pueden llegar a instancias internacionales, en donde el papel del perito es evaluado a detalle. Por estas y más razones que se detallan más adelante, debemos contar con un respaldo del abordaje que se le debe dar a estos casos.

Por último, otra pregunta que surge constantemente al pensar en los protocolos para la actuación forense en México y a nivel internacional, es ¿qué determina una buena práctica dentro del contexto forense? Al contestar esta pregunta, queda claro que basar la práctica en un protocolo no garantiza ésta sea buena, ya que algunas veces la mala praxis se convierte en algo repetitivo, que se piensa “buena” porque se basa en la experiencia empírica del perito. Así, es importante recordar como menciona Dirkmaat (2008), en el caso específico de la antropología forense, que la experiencia no sustituye el conocimiento, sino que se complementan. Pero no sólo eso, el reconocimiento de una persona como un experto depende de sus credenciales académicas, su experiencia y sobre todo la admisibilidad de sus resultados, los cuales deben estar sustentados en métodos válidos, los cuales deben haber sido

probados y haber demostrado su viabilidad. En el caso del perito en antropología forense este debe de ser científico primero, y después profesional (Dirkmaat, 2008).

## PROBLEMÁTICAS Y REZAGOS DE LA ANTRPOLOGÍA FORENSE EN MÉXICO

Existen protocolos internacionales donde se habla de la intervención de arqueólogos y antropólogos físicos para coadyuvar en la búsqueda e identificación de personas en casos forenses. Entre los más importantes, se encuentra el *Protocolo de Minessota sobre la Investigación de Muertes Potencialmente Ilícitas (2016)* (Naciones Unidas, 2017) y el *Modelo de Protocolo Latinoamericano de Investigación de las Muertes Violentas de Mujeres por Razones de Género (femicidio/feminicidio)* (Naciones Unidas, s/a). En México, existen el *Protocolo Homologado de Investigación para los Delitos de Desaparición Forzada y Desaparición Cometida por Particulares (PGR, 2018)*<sup>9</sup> y el *Protocolo para el Tratamiento e Identificación Forense (PGR, 2015)*. Hasta el momento, no existen protocolos específicos como tales en materia de antropología forense, ni internacionales ni nacionales.

Para el caso internacional podemos mencionar algunos ejemplos de guías o manuales que pueden servir de apoyo para la práctica de la antropología forense, pero que no cuentan con los elementos necesarios para ser considerados como un protocolo de actuación como tal, la primera que podemos mencionar es la *Guía Latinoamericana de Buenas Prácticas para la Aplicación en Antropología Forense (GLAAF)*, la cual fue publicada por la ALAF (Asociación Latinoamericana de Antropología Forense), en ella se describen de manera general los puntos mínimos a cumplir por el antropólogo en una investigación forense. Dentro del ámbito académico internacional, también se han desarrollado ciertas guías o protocolos para la actuación forense, en donde se mencionan a detalle los pasos y metodologías recomendadas para una adecuada intervención forense del antropólogo, ejemplo de estas es el *Data Collection Protocol for*

<sup>9</sup> En mayo de 2020, fue concluido para su aprobación el Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas. Emitido de conformidad con el artículo 49, fracción XVI de la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas, donde se amplían y perfeccionan las estrategias de búsqueda de personas desaparecidas, tanto en vida como fallecidas, así como la comunicación entre instituciones y actores sociales intervinientes.

*Human Identification*, el cual fue publicado por la Universidad del Sur de Florida en el 2012, o los trabajos que ha la *Scientific Working Group for Forensic Anthropology* (SWGANTH, por sus siglas en inglés), quienes se han enfocado en desarrollar y promover las buenas prácticas dentro del contexto de la Antropología Forense.

Sin embargo, recientemente el Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) convocó una reunión de peritos oficiales en antropología forense, para discutir la pertinencia y establecer parámetros para la creación de un protocolo específico para esta disciplina, dado la importancia que ha cobrado su intervención en los contextos forenses. Se está comprendiendo que una adecuada intervención en la materia puede coadyuvar en el derecho a la verdad, a la justicia, a la no revictimización y a la no repetición.

Pero llegar a este punto, ha sido un camino arduo y exhaustivo por parte de diversas instituciones y expertos en la materia, dado que como se ha mencionado, la antropología forense en México ha llegado tarde y con propuestas de análisis de poco o mediano alcance.

Mucho se deriva de la complejidad descrita en la introducción a este capítulo, pero también es importante mencionar que existe una dificultad específica para la intervención forense en crímenes de *lesa humanidad*, como son los casos de desaparición de personas. Debido a la complejidad derivada de desaparecer sistemáticamente a miles de seres humanos, se ha vuelto necesario tratar estos casos de manera distinta a cualquier otro tipo de casos criminales en cada una de las fases de procesamiento e investigación.

Por otro lado, con el cambio del sistema penal, el papel del perito se ha modificado, dado que es presentado en calidad de testigo experto en un juicio oral y sus peritajes pueden ser ofrecidos como medios de prueba.

Además, este rezago también responde a razones políticas, económicas y socio culturales para el ejercicio profesional de la antropología forense. Enumeramos a continuación algunas de estas razones:

1. Los pioneros en la práctica operativa de la antropología forense abrieron (no sin poco esfuerzo) los espacios para ejercer como peritos oficiales, donde pusieron las técnicas de la antropología física como auxiliares en la solución de casos forenses, dando resultados *técnicamente* respec-

tables, esto por la falta de actualización de la práctica, basando la misma en metodologías rebasadas en el ámbito internacional, y sobre todo, sin una disposición clara para el desarrollo de nuevas herramientas metodológicas. Esto es importante porque derivó en un abandono casi total durante décadas -con algunas honrosas excepciones- de una investigación básica forense (tan necesaria hasta la fecha en población mexicana) y sentó una inercia viciosa que se perpetúa hasta nuestros días: la antropología forense consiste en la aplicación de técnicas que puede realizar con un poco de entrenamiento cualquiera tenga o no la formación en antropología, porque se han abandonado también los sustentos teóricos que nos fundamentan como disciplina científica. La gravedad de esta situación radica en que actualmente estén contratados o hayan sido contratados como peritos oficiales en distintas instituciones federales y estatales para ejercer como antropólogos forenses a personas que no cuentan con una formación ni en antropología física ni en arqueología, quienes al no contar con fundamentos teóricos y metodológicos propios de las disciplinas, así como con el perfil humanista que conlleva, aplican casi siempre con resultados desastrosos las técnicas tanto de campo como de laboratorio, retrasando o impidiendo el derecho a la verdad y a la justicia y contribuyendo a la revictimización de las víctimas indirectas.

2. La formación de antropólogos por parte de la Escuela Nacional de Antropología e Historia (universidad de origen en la formación de antropólogos en México) continúa siendo preponderante en función de responder a las necesidades e intereses del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Tiene relativamente poco tiempo que la ENAH creó la especialidad comenzó a formalizar la formación de antropólogos forenses aun potencialmente perfectible.
3. La Universidad Nacional Autónoma de México creó la Licenciatura en Ciencias Forenses y la Licenciatura en Antropología. De la primera, recientemente comienzan a titularse sus egresados; y la segunda, continúa su primera generación en etapa formativa. Queda pendiente saber si sus

- egresados cuentan con la formación necesaria para el ejercicio de la práctica forense.
4. El que se comprenda el quehacer de la antropología forense por parte de las instituciones oficiales de impartición de justicia y de defensa de los derechos humanos, ha sido un camino largo y a veces tortuoso. Esto ha llevado a que se contraten antropólogos sociales como peritos oficiales en lugar de antropólogos físicos o arqueólogos. No sobra decir, que si bien, la antropología social tiene espacios interesantes a desarrollar dentro de la práctica forense, no puede ser desde la usurpación de funciones de otras áreas que desconocen totalmente, pues su formación dista mucho de la antropofísica y la arqueológica.
  5. Históricamente, las desgracias derivadas de la desaparición de personas llegaron de la mano en México y en América Latina, aunque con reacciones diferenciadas. Desde la Guerra Sucia a la fecha, los casos de desaparición no han parado en México. Probablemente, la percepción de que se trató sólo de unos cuantos casos aislados en los setenta ha hecho que los expertos en la materia llegaran tarde a dar respuesta a la demanda social, a diferencia de países latinoamericanos como Chile, Argentina o Colombia.
  6. La comunicación entre los peritos oficiales, los académicos y los peritos particulares es prácticamente nula. Se han preferido los protagonismos, la secrecía y la parcialidad por encima de la colaboración, el trabajo en equipo y la inclusión para enfrentar la inmensa problemática que se enfrenta.
  7. Hasta fechas recientes, los antropólogos forenses mexicanos se han hecho poco visibles. Infortunadamente, sólo se han visibilizado las malas prácticas a manos de algunos peritos oficiales (la mayoría de los casos son aquellos que no cuentan con la formación adecuada, o bien, que no cuentan con formación alguna). El buen trabajo hecho desde los buenos procesos es poco o nada reconocido. Esto deriva que se considere indispensable la constante intervención de expertos internacionales. Sin embargo, aunque sus colaboraciones han sido importantes en varios casos, vale mencionar, casi ningún grupo internacional conoce a profundidad los contextos ni la complejidad regional presente en México, por lo que sigue sin ser contundente ninguna de las intervenciones realizadas para avanzar en la problemática de nuestro país.
  8. El trabajo operativo de la antropología forense se realiza en medio de la violencia extrema en México. No se está en una situación donde la crisis violenta haya pasado o esté en un proceso de pacificación, con lo cual el ejercicio profesional se realiza en condiciones de alto riesgo, maltrato institucional y vulnerabilidad. Por ello, los peritos oficiales deberían ser considerados también como *víctimas secundarias* de la crisis humanitaria que se experimenta en México.
  9. No hay aun suficientes antropólogos físicos y arqueólogos con la formación y experiencia necesarias para intervenir en casos complejos. Por ello, los que se encuentran en activo tienen una gran sobrecarga de trabajo y gran presión en su ejercicio profesional, lo cual, en muchos casos, provoca la disminución de la calidad de sus resultados.
  10. Como hasta hace poco se había subvalorado la importancia de contar con antropólogos forenses, las instituciones académicas y de impartición de justicia no han invertido de manera suficiente en la formación, investigación, difusión; ni en la infraestructura adecuada para el ejercicio profesional. Tampoco en la creación de espacios de interlocución entre académicos investigadores, peritos oficiales y peritos particulares.
  11. En contraste al punto anterior, algunas instituciones de impartición de justicia (sobre todo federales) han hecho un derroche de inversión en tecnologías, con la errada idea de que por sí mismas pueden ayudar para la resolución de casos complejos. Sin embargo, las tecnologías no sirven de nada si no se cuenta con personal del perfil adecuado no sólo para utilizarlas, sino para realizar las lecturas, interpretarlas y traducirlas en datos útiles para la comprensión de los fenómenos de manera integral e incluyente (hacia las víctimas indirectas principalmente) con una visión multi, inter y transdisciplinaria.

Todo lo anterior debe ser considerado para hablar de protocolos forenses en México, dado que la problemática más importante no está en su elaboración (aunque también ha representado retos importantes) sino en quiénes lo elaboran y con qué intención subyacente lo hacen. Los protocolos por sí mismos no garantizarán que las problemáticas actuales que se han descrito se solucionen. Se requiere de una visión que analice íntegramente las problemáticas, para que cada actuación forense sea realizada en función de garantizar en campo una adecuada recuperación y registro de los restos humanos y materiales, pero también del contexto para comprender qué sucedió en cada lugar de investigación; y en el laboratorio una adecuada individualización e identificación que deriven en una entrega o destino final dignos.

Todo siempre bajo principios éticos y con apego a los derechos humanos encaminados para auxiliar en el derecho a la verdad, a la justicia, a la no repetición y a la no revictimización.

## HACIA LA CREACIÓN DE PROTOCOLOS EN ANTROPOLOGÍA FORENSE

Una de las problemáticas reiterativas en los casos forenses, tiene que ver con la ejecución de búsqueda y recuperación de datos en campo, en específico, con las metodologías empleadas para los trabajos de investigación en arqueología forense. En el caso de los protocolos, estos, por su forma general, no distinguen pasos del registro, mismos que pueden significar la diferencia en la recopilación de posibles pruebas para el juicio penal y su resolución. Lo anterior es delicado y llevaría una discusión extensa, por ahora, se mencionan algunos puntos.

Por ejemplo, para el caso del Protocolo Homologado para la búsqueda de Personas Desaparecidas y la Investigación del delito de la Desaparición Forzada (pág. 48-49) debe señalarse en su apartado los casos históricos o “Casos de desapariciones no recientes”, en donde si bien promueve la completa documentación ministerial sobre averiguaciones previas; así como, información que enumera el protocolo en diversos apartados para una correcta investigación en arqueología forense, es necesario realizar una cadena de información y datos que permitan contextualizar históricamente el caso. Es decir, aunque la información manejada por el protoco-

lo es pertinente, esta no basta para la ubicación, selección de áreas de prospección y, sobre todo excavación de los posibles puntos de búsqueda. Entonces, para este punto, debe realizarse un exhaustivo estudio histórico, que permita entender no sólo cuestiones del caso en específico, si no la contrastación de otros, bajo circunstancias similares. Esto es, una primera fase de la investigación arqueológica, misma que posibilita la comprensión dinámica de los contextos.

Otra problemática, tiene que ver con las definiciones generales de las disciplinas a ocupar. Aquí el caso resalta, por ejemplo, en la cuestión que aparece en el protocolo Minnesota, específicamente en el apartado de protocolo modelo de exhumación y análisis de restos óseos; en donde si bien se mencionan varios puntos a desarrollar, aún no define adecuadamente el trabajo de la arqueología forense. En el punto sobre la investigación de la escena, se menciona “La recuperación de un entierro debe hacerse con la misma minuciosidad que la búsqueda hecha en el lugar de un delito. Deben coordinarse los esfuerzos del investigador principal y el antropólogo o arqueólogo consultado.” (Protocolo Minnesota pp. 79). El punto es importante por varias razones, y está ligado a lo discutido inicialmente, si bien es cierto que la minuciosidad es importantísima, lo es también la comprensión contextual de la escena, esto quiere decir, que no basta con la información proporcionada por el investigador principal; debe realizarse aquí un estudio histórico con dimensiones antropológicas, mismo que proporcionará información necesaria para determinar cualquier punto a excavar en la escena.

Del protocolo Minnesota, es importante recuperar sus recomendaciones sobre los procedimientos de exhumación, en donde encomia que: “Debe prohibirse la exhumación hecha por personas sin preparación.” (Ídem), cuestión que puede provocar la pérdida de información valiosa. Las prácticas recurrentes son que personal no capacitado como mismos funcionarios de la ley o trabajadores de panteones realiza dichas exhumaciones. Pero pensamos que, a pesar de dichas recomendaciones, las problemáticas de excavación rebasan por mucho las indicaciones señaladas en el protocolo.

Las técnicas de registro arqueológico son muy disímiles de las presentadas en el protocolo que ahora mencionamos. Esto puede provocar que cualquier perito, no especializado en cuestiones antropológicas o arqueológicas, decida seguir los pasos recomendados, mismos que tam-



bien pueden provocar pérdida de información. Por ejemplo, en caso de los primeros incisos, a, b, c, d, se deja para este último la actividad de ubicación” En algunos casos es necesario ubicar en primer lugar la fosa en una superficie determinada. Hay numerosos métodos de ubicación de fosas, según su antigüedad...” (Ídem). Sin embargo, este, es de los primeros pasos en una investigación arqueológica, que se logra gracias al trabajo de campo en reconocimiento de superficie y prospección del subsuelo. Lo anterior supone sólo un punto de mala definición teórica y práctica de la arqueología forense.

Se señala, que no puede ni se debe dejar de realizar protocolos, lo que aquí ocupa son las limitadas actividades del registro en general de cualquier contexto, mismas que podrían ser anexas a un manual de prácticas. La experiencia que se tiene sobre este tema, ha dejado observar el desastre en cuestión de pérdida de datos sustanciales, vitales, y de recuperación contextual en las carpetas de investigación. Aquí, hay que anotar que la recuperación de los restos humanos o materiales, no es cuestión de una simple extracción de los mismos. La asociación de todo tipo de indicios naturales, materiales, etc; debe ejecutarse al mismo tiempo de la excavación, es decir, la lectura contextual inicia desde la prospección de superficie hasta que la excavación llega a la roca basal.

Debe clarificarse el trabajo del arqueólogo en estos contextos, que no son muy diferentes a masacres, genocidios, o crímenes de más de mil años de antigüedad. Con esto queremos decir, cualquier investigación o participación de la arqueología forense, debe cumplir con todos los requerimientos metodológicos y técnicos de la arqueología tradicional. En suma, no se trata de plantear una serie de pasos en un protocolo, se trata de exigir la participación de arqueólogos en cualquier caso de desaparición que suponga una búsqueda y excavación. Por supuesto, el profesional en la materia debe estar bien preparado teórica, técnica y éticamente.

Por otro lado, la labor en campo supone un trabajo necesariamente interdisciplinar. Si bien, esto se menciona en algunos protocolos, no se especifica el trabajo o actividades que esto significa. La arqueología forense, desde nuestra experiencia, se realiza de mejor manera en conjunto con sus disciplinas hermanas, desde la antropología física, social, la historia y la etnohistoria. Las metodologías de trabajo de dichas

disciplinas enriquecen y permiten la observación en campo de una cantidad de datos invaluable.

Los resultados de lo anterior van desde mapeos de superficie en las posibles escenas de un crimen, hasta los mapeos de memoria histórica para casos de desaparición forzada, genocidios, etc. Este trabajo, necesariamente requiere de técnicas etnográficas conjugadas con las técnicas de reconocimiento de superficie arqueológica. Además, lo anterior supone una labor en equipo, que debe contar con una sensibilidad política y social desarrollada, ya que es clave la participación de familiares de las víctimas y todo el caudal de testimoniales que puedan verter para la creación de los mapas parlantes. Esta metodología se ha ejecutado y ha rendido resultados alentadores en casos de desaparición forzada.

Un último punto que debe señalarse es el caso de la preparación pericial en México. Aquí debe realizarse un trabajo extenuante de capacitación, apertura a nuevas metodologías de investigación, y sensibilización social. Como mencionamos arriba, además de la poca pericia en cuestiones de arqueología forense, el desastre del registro de escenas criminales, en superficie y excavación, también se debe a otros factores, que tienen que ver con la poca preparación en lecturas contextuales. El debate entonces, dentro de las investigaciones forenses regresará al contexto mismo, desde su descripción, interpretación y explicación. Así los pasos mínimos para realizar una lectura contextual deben incluirse en los protocolos en su generalidad, y en manuales de ejecución de particular.

Todo lo anterior, es una muy pequeña parte de las problemáticas que supone tanto la creación como la ejecución de un protocolo para casos de desaparición particular o forzada. Pero en específico, de la práctica de la arqueología forense.

## ANÁLISIS DE LABORATORIO

Al discutir sobre cuáles serían los requerimientos específicos para el desarrollo de un protocolo que aborde la labor científica que realiza el antropólogo forense en laboratorio, es importante centrarnos sobre qué es lo que fundamenta la práctica antropológica dentro de las ciencias forenses.

En este caso serían las metodologías osológicas y somatológicas que se desarrollan a partir de la comprensión de la evolución y la

variabilidad humana que estudia la antropología física, estos métodos son empleados en el trabajo de laboratorio por el antropólogo forense sobre todo en el proceso de identificación (Cunah, 2010; Sanabria, 2008).

Durante mucho tiempo se pensó que el aporte de la antropología en el contexto forense, principalmente en los casos de restos esqueléticos se limitaba únicamente al tema de la identificación. Pero el panorama actual de la disciplina ha cambiado, y con esto los casos en los que participa el antropólogo forense, los cuales son cada vez más diversos. En muchos, no sólo se requiere la experticia del antropólogo físico forense para el tema de la identificación, sino que este puede aportar elementos importantes para la investigación de las muertes, desde el estudio del trauma óseo, hasta el establecimiento del intervalo post-mortem, por medio del análisis de los procesos tafonómicos (Snow, 1982).

En los últimos años, aunado a esto, está un tema central que tiene que ver con la importancia de la intervención de la disciplina en los casos de violaciones graves a derechos humanos, en donde ya ha pasado mucho tiempo del hecho, y por lo mismo esto dificulta el poder establecer una causa de muerte o hay poca evidencia que pruebe dichas violaciones.

Por lo que los manuales, guías y protocolos de actuación, en la parte del análisis en laboratorio, se centran en el abordaje de estos casos, siguiendo en general las mismas recomendaciones en cuanto a la tarea que debe de desempeñar el antropólogo físico forense al asistir al médico en el abordaje de los casos, como lo menciona el Protocolo Minnesota (Naciones Unidas, 2017):

1. Debe tenerse en cuenta que el abordaje del caso siempre tiene un carácter multidisciplinario.
2. En cuanto al procedimiento técnico: se deben preparar los restos para su análisis, haciendo mención de los pasos que esto representa:
  - La limpieza.
  - La reconstrucción de elementos óseos, en el caso de que sea necesario.
  - El inventario óseo.
  - Toma de radiografías
  - La toma de muestras.
3. Posteriormente es necesaria la obtención del perfil biológico:
  - Sexo.

- Edad.
- Talla.
- Patrón ancestral.

4. En seguida vendría la parte de análisis complementarios:

- La interpretación de las patologías y traumatismos.
- Rasgos individualizantes.

5. Y por último la elaboración del informe pericial.

Es necesario tener en cuenta que la práctica de la disciplina al estar al auxilio de la procuración de la justicia se rige por una serie de normatividades jurídicas; por lo que su desempeño se vuelve más estricto debido a las repercusiones legales que acarrea no cumplir las actividades conforme a la ley y el debido proceso. Consideramos que la práctica debe ser regulada, en la parte legal por los estatutos nacionales e internacionales y desde lo disciplinar por estándares mínimos internacionales establecidos para la antropología forense.

En el orden de procedimiento, cada protocolo se rige por las normativas locales, en este caso nacionales, entonces el proceso cambiaría, por lo menos en la primera parte de la intervención, ya que el perito (antropólogo físico forense) debe de seguir las recomendaciones legales para la práctica forense en general:

1. Tener una solicitud del ministerio público para su intervención en el caso.
2. Verificar la cadena de custodia, y que la información tanto del embalaje como de la cadena coincida, así como también debe de revisar toda la información que se le adjunta.

Hasta este punto, los protocolos que se utilizan en México señalan cada uno de estos pasos, y profundizan en los diferentes apartados y pasos del procedimiento. Pero sin duda tiene carencias que es necesario mencionar:

1. Por un lado, no menciona la consulta de los protocolos internacionales como el de *Minnesota* o el *Modelo de protocolo latinoamericano de investigación de las muertes violentas de mujeres por razones de género (femicidio/feminicidio)* y el de Estambul; los cuales, son referencia obligada para la práctica forense internacional.
2. En el establecimiento del perfil biológico, parte medular del trabajo del antropólogo físico forense, las metodologías no están

al día; y lo más importante, la pertinencia de sus aplicaciones en población mexicana no ha sido revisada, sólo se ha hecho para el caso de la talla, para lo cual se cuenta con metodologías específicas.

3. En nuestro país es necesario exigir un enfoque más científico dentro del sistema judicial, sobre todo en la admisión de evidencia científica dentro de un proceso legal y la confiabilidad de los resultados presentados, los cuales deben estar sustentados en métodos probados, replicables y confiables.
4. Algunos de los métodos y técnicas sugeridos en los protocolos mexicanos están rebasados y su uso ya no es recomendado, ni siquiera por sus propios autores, como sería el caso de las metodologías de Ubelaker y de Buikstra en su célebre *Standards for data collection from human skeletal remains* de 1994 (Ubelaker, 2013). Ante ello, es imperativo que la academia o alguna dependencia especializada aborde el tema de la revisión de los métodos osteológicos para población mexicana, así como del desarrollo de nuevas metodologías basadas en el análisis de colecciones osteológicas contemporáneas de referencia. Estos dos puntos son fundamentales para una correcta práctica de la antropología forense en nuestro país; esta es la recomendación general cuando se habla de métodos en los que la variabilidad biológica de las poblaciones juega un papel importante en su aplicación, porque sus resultados pueden arrojar errores sustanciales al ser aplicados en un contexto forense.

## CONSIDERACIONES FINALES

En los protocolos de actuación, es fundamental comprender la problemática específica que representan los llamados casos complejos, los cuales no se abordan en la mayoría de los protocolos, pues como su nombre lo sugiere son casos específicos que requieren de un abordaje especializado, pero no se presentan en todos los contextos.

Centrándonos en el caso de México, el nivel de alteración intencional hacia los cuerpos ha llegado a puntos de aniquilación antes inimaginables, y son lamentablemente propios del contexto mexicano; por ende, no se encuen-

tran referencias bibliográficas para su abordaje. Lo más cercano son experiencias de casos similares que sirven como guía, pero en la realidad distan de ser una referencia metodológica para un proceso adecuado. Anudado a ello, otra de las formas de complejidad de los casos sobre la violencia en México son las diferencias regionales en cuanto al tratamiento y los medios empleados para desaparecer a una persona o intentar borrar evidencia, tanto por grupos criminales como por particulares o agentes del Estado.

Así, se encuentran lugares donde las fosas clandestinas son el medio para ocultar los cadáveres o restos de las personas fallecidas, pero en otros lugares recurren a métodos más extremos para borrar cualquier evidencia, con ejemplos como las llamadas “cocinas” donde se encuentran fragmentos y esquirlas de huesos quemados, carbonizados, calcinados e incluso incinerados; o el empleo de ácido para disolver los cuerpos, por citar algunos ejemplos útiles para dimensionar la complejidad de la problemática en la búsqueda, la recuperación, la identificación y la entrega digna de estos restos humanos.

Ante la situación, es viable pensar en el desarrollo de metodologías para el abordaje de estos casos complejos con los que se enfrentan cotidianamente los antropólogos forenses en México. Se reitera, las guías regionales de abordaje de casos específicos no pueden sólo sustentarse en la experiencia empírica del perito que los ha trabajado, es necesario un sustento científico que permita pensar en un abordaje de estos casos.

Bajo las condiciones políticas, económicas y sociales actuales de México, esto puede llevar varios años. Sin embargo, las respuestas y acciones concretas por parte del Estado Mexicano hacia las víctimas no pueden esperar, se requiere un compromiso visible por parte de los operadores y la academia; y de estos, hacia las víctimas indirectas. Los primeros deben poner en la mesa de discusión las problemáticas y necesidades que enfrentan, y los segundos deberían de brindar las estrategias metodológicas para resolverlas. Es difícil pensar en un crecimiento metodológico sin la participación y colaboración de ambas partes.

Desde hace varios años el paradigma de la antropología forense ha tenido cambios. De ser una subdisciplina de la antropología física y auxiliar dentro de las ciencias forenses para la procuración de justicia; se convirtió en una disciplina, que, en el caso de países como México, cada vez toma protagonismo por la importancia

que tiene en el tema de la búsqueda y recuperación de restos humanos, la identificación humana y la entrega o destino dignos, coadyuvando con el derecho a la verdad y a la justicia.

Las problemáticas actuales plantean nuevos retos para la disciplina, con una serie de paradigmas cambiantes. Para hacerles frente, es indispensable el replanteamiento de la práctica de la antropología forense, donde se desarrollen metodologías sólidas y confiables, sustentadas teórica y científicamente, y no sólo la aplicación de técnicas. Es aquí cuando el trabajo y la relación entre la antropología forense aplicada por los operadores y la academia es vital, donde se abran espacios que consoliden una relación estrecha, conjunta, interinstitucional, que nos lleve a encontrar los mejores caminos para resolver los retos actuales que enfrenta la antropología forense en México.

Baltasar Garzón menciona: “*la búsqueda de la verdad se convierte en sí misma en un elemento de justicia, en un primer paso de reparación hacia las víctimas, de restitución de su dignidad*” (Garzón, 2011: ix). Los hechos de violencia muchas veces se ocultan por sus perpetradores, y con esto se intenta borrar toda evidencia de lo que sucedió, tratan de enterrar la verdad, dejando sin respuestas y en la incertidumbre a los familiares de sus víctimas. El desarrollo de las ciencias forenses y los avances científicos de los últimos años han contribuido a desenterrar estos hechos, dándoles a los familiares la oportunidad de conocer la verdad, tener acceso a la justicia y a una reparación simbólica.

La colaboración de expertos de todas las áreas forenses ha sido vital para el esclarecimiento de casos pasados que se consideraban olvidados. Existen diferentes tipos de hechos en los cuales el esclarecimiento de estos parece difícil, si no es que imposible, más cuando se habla de violaciones a derechos humanos o casos de desaparición, tanto forzada como cometida por particulares. Estos ocurren como menciona Baraybar (2008) en *ex post facto*, y entre más tiempo transcurre entre la muerte y la recuperación de los cuerpos más se complica la identificación de las víctimas y averiguar los hechos, es necesaria la intervención de expertos en diferentes disciplinas, como es el caso de antropólogos y arqueólogos. ¿Pero cuál es el apoyo que brindan? Bueno, por un lado, las técnicas de excavación de la arqueología permiten la recuperación de los restos, en diferentes condiciones; y no solo en las excavaciones, los arqueólogos pueden aportar

herramientas metodológicas importantes para la reconstrucción del hecho, esto a partir del estudio, análisis y comprensión del contexto. Y por el otro lado, tenemos la colaboración del antropólogo físico en laboratorio, lo que permite aportar información que ayude a la identificación de la víctima, y al mismo tiempo apoyar al médico en el establecimiento de la probable causa de muerte. Logrando con su participación recuperar no solo los restos sino también evidencia ligada al hecho que es fundamental para el esclarecimiento de los casos y el poder conocer la verdad.

Un problema que a veces complica el pleno desarrollo de la disciplina radica en el hecho de la falta o la mal entendida definición que se tiene al interior de esta, ¿cuál es el papel y finalidad de la Antropología dentro del contexto forense? Hasta el día de hoy existe una discrepancia entre los mismos operadores sobre el tema. Lo que es un hecho es que hasta que no nos pongamos de acuerdo sobre cuál es el rol de la Antropología Forense dentro del sistema judicial, será complicado contar con un pleno desarrollo de la disciplina.

Al resolver esto, podremos entonces abordar el siguiente punto, la regularización de la práctica, sabemos que un protocolo de actuación tiene esta finalidad, pero es complicado pensar en un protocolo de antropología forense cuando internamente no se entiende y define claramente. Entonces, replantear o establecer en términos claros, cuál es el objetivo de la antropología forense como disciplina, se tiene que encontrar una respuesta clara a la pregunta ¿cuál es la función sustantiva de la antropología forense? Que no podrá ser respondida sino se tiene conocimiento de qué y para qué sirve la práctica de la antropología forense, sólo teniendo estas certezas podría dar paso a realizar un protocolo.

En México se tiene un rezago histórico en la materia porque nunca se consideró necesaria la labor de la antropología en el contexto de la procuración de justicia mexicana. Es debido al panorama actual, y la contingencia que se vive, se empieza a replantear el papel y la necesidad del antropólogo en las intervenciones forenses. Y como resultado, se empieza a cuestionar la práctica en nuestro país, qué es lo que la sustenta, y lo más importante, qué la regula, estas son algunas preguntas que empiezan a surgir y para las cuales tenemos vagas respuestas.

Para resolver esta cuestión es importante primero abordar y resolver tres problemáticas internas de la práctica: la primera es no tener cla-

ridad en los fundamentos de la disciplina y que sigue basando en la antropología física, para ello sugerimos que la antropología forense construya sus propios fundamentos que den soporte a su práctica. El segundo punto, es la intervención y la colaboración de la academia en el crecimiento de la antropología forense en México, no puede haber un desarrollo de la disciplina sin la colaboración de todas las partes, se necesita un

compromiso claro por parte de las instituciones dedicadas al desarrollo científico y la investigación, sobre todo por tratarse de un tema tan importante como es la desaparición en nuestro país. Y, por último, se deben definir los alcances y límites de la disciplina, pues de otra forma no podrá ser regulada y mucho menos colaborar adecuadamente en la procuración de justicia.

## REFERENCIAS CITADAS

- Amnistía Internacional. (2018). Informe 2017/18. Amnistía Internacional: situación de los Derechos Humanos en el mundo. Amnistía Internacional
- Baraybar, J. P.; Kimmerle E, H. Traumatismos Óseo: lesiones ocasionadas por violaciones a derechos humanos y conflictos armados. Prólogo de Baltasar Garzón. (2011). EPAF. CRC Press.
- Bass, William M. (1998). Preface Forensic Osteology. En Reichs, K. (ed.), *Advances in the Identification of the Human Remains*, Second Edition, Springfield: Charles C. Thomas, Illinois, EUA. pp. ix.
- Buikstra, J., & Ubelaker, D. (1994). Standards for data collection of human skeletal remains. Fayetteville: ArNansas Archaeological Survey Research Series, (44).
- Dirkmaat, D.C, Cabo, L., Ousley, S. y Symes, S. (2009). New perspectives in forensic anthropology. *Yearbook of Physical Anthropology*, 52, pp.33-52.
- Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CICH), 2015, Situación de los Derechos Humanos en México, Organización de los Estados Americanos.
- Cunha, E. (2010). Some reflections on the popularity of forensic anthropology today. *Bulletins et mémoires de la Société d'anthropologie de Paris*, 22(3-4), 190-193.
- Enciso Froilán, (22 de febrero 2018), La Ley de Seguridad Interior o la tentación del fracaso, *The New York Times*, recuperado en <https://www.nytimes.com/es/2018/02/22/opinion-enciso-ley-seguridad-interior-fracaso/>.
- Kast, F. E. (1979). *Administración en las organizaciones: enfoque de sistemas y de contingencias* Editorial McGraw-Hill. México
- Larios, J. J. (1989). *Hacia un modelo de calidad*. Grupo IBEROAMERICA, México
- Louart, P. (1994). *Gestión de los recursos humanos*. Ediciones Gestión 2000 S.A. Barcelona, España.
- Oficina en Washington para Asuntos Latinoamericanos (Wola), 2017, Instancias mexicanas e internacionales comparten preocupaciones sobre la Ley de Seguridad Interior en México, Wola, Recuperado de <https://www.wola.org/es/analisis/instancias-mexicanas-e-internacionales-comparten-preocupaciones-sobre-la-ley-de-seguridad-interior-en-mexico/>
- Programa de Derechos Humanos Ibero (PDHIBERO) y Comisión Mexicana de Defensa y Promoción de Derechos Humanos, A.C. (CMDPDH), 2017, *Violencia y Terror. Hallazgos de fosas clandestinas en México*, Ciudad de México
- Sanabria, C. (2008). *Antropología forense y la investigación médico legal de las muertes*. Bogotá, DC: Editorial Rasgo y Color.
- Sánchez de Tagle Gonzalo, (4 de diciembre 2017), *Cómo explicarle la Ley de Seguridad Interior a un marciano*, Huffpost, recuperado en [https://www.huffingtonpost.com.mx/gonzalo-sanchez-de-tagle/como-explicarle-la-ley-de-seguridad-interior-a-un-marciano\\_a\\_23294536/](https://www.huffingtonpost.com.mx/gonzalo-sanchez-de-tagle/como-explicarle-la-ley-de-seguridad-interior-a-un-marciano_a_23294536/).
- Senlle, A y Stoll G.A. (1994). "ISO 9000. Calidad total y Normalización. Ediciones Gestión, Barcelona, España.
- Snow, C. C. (1982). Forensic anthropology. *Annual Review of Anthropology*, 11(1), 97-131.
- Turati Marcela (5 de Junio del 2015) El Pozolero, un albañil que acabó disolviendo en sosa cáustica 300 cadáveres, en

Proceso, Recuperado de <https://www.proceso.com.mx/406456/el-pozolero-un-albanil-que-acabo-disolviendo-en-sosa-caustica-300-cadaveres>.

Ubelaker, D. H. (2012). Forensic science: Current issues, future directions. John Wiley & Sons.

## PROTOCOLOS

Derechos Humanos Oficina del Alto Comisionado Naciones Unidas. (2017). Protocolo de Minnesota sobre la investigación de muertes potencialmente ilícitas (2016). Versión revisada del Manual de las Naciones Unidas sobre la Prevención e Investigación eficaces de las Ejecuciones Extralegales, Arbitrarias o Sumarias. Nueva York y Ginebra.

Mujeres, O., & Humanos, O. D. (2014). Modelo de Protocolo latinoamericano de investigación de las muertes violentas de mujeres por razones de género (femicidio/feminicidio). Panamá: ONU Mujeres/ONU Derechos Humanos.

Procuraduría General de la República. (2018). Protocolo Homologado de Investigación para los Delitos de Desaparición Forzada de Personas y Cometida por Particulares. Conferencia Nacional de Procuración de Justicia. México.

Procuraduría General de la República. (2015). Protocolo para el Tratamiento e Investigación Forense. México.

# S2

## Sección 2: Perfil biológico

- |    |   |     |     |   |     |
|----|---|-----|-----|---|-----|
| 3. | Estimación Sexual   | 27  | 8.  | Utilidad de la Morfología Dental para Estimación de Ancestría.                                    | 124 |
| 4. | Morfometría Geométrica para la Cuantificación de Rasgos del Perfil Biológico en Estudios Forenses                               | 51  | 9.  | Estimación de la Ancestría Utilizando Características Morfológicas                                | 139 |
| 5. | Consideraciones para la Estimación de Edad al Momento de la Muerte en Esqueletos Subadultos                                     | 70  | 10. | Estimación de la Ancestría Biogeográfica Mediante Caracteres Cuantitativos Craneofaciales         | 153 |
| 6. | Estimación de la Edad en Individuos Inmaduros Mediante Análisis Radiográfico  | 90  | 11. | Consideraciones para la Estimación de Estatura en Antropología Forense                            | 176 |
| 7. | Estimación de la Edad al Momento de la Muerte Usando el Extremo Estral de la Cuarta Costilla de Individuos Masculinos Mexicanos | 109 | 12. | La Odontología en Ciencia Forense: Alcances y Limitaciones en Procesos de Procuración de Justicia | 198 |
|    |   |     | 13. | Marcas de Actividad en el Esqueleto y su Uso en la Antropología Forense                           | 219 |





# 3

## Estimación Sexual

**Jorge A. Gómez-Valdés<sup>1</sup>**

**Antinea Menéndez Garmendia<sup>2</sup>**

**Gabriela Sánchez-Mejorada<sup>2</sup>**

**Mirsha Quinto-Sánchez<sup>3</sup>**

**Alexandra Klaes<sup>4</sup>**

**Palabras clave:** estimación sexual, sexamiento, diagnóstico sexual probabilístico, antropología forense.

### RESUMEN

La estimación del sexo a partir del análisis de los restos óseos representa el punto de partida al establecer el perfil biológico de un individuo no identificado (sexo, edad, altura y ascendencia). Para la estimación del sexo se han propuesto numerosas metodologías basadas en el diagnóstico morfooscópico y morfométrico. Con el objetivo de ofrecer un balance de las metodologías que pueden utilizarse para sexar el esqueleto, revisamos la literatura especializada nacional e internacional. Inicialmente, tratamos las referencias bibliográficas de manera general, considerando exhaustivamente las metodologías que se han propuesto en el campo de la antropología forense mexicana y, posteriormente, presentamos algunas propuestas para la faja pélvica y los huesos del cráneo en detalle. En nuestro trabajo, nos referimos a la importancia de realizar un enfoque matemático -probabilístico- para sexar individuos no identificados en el campo de la antropología forense, lo que nos permite dar un criterio de confiabilidad y robustez a la estimación sexual.

- 
- 1 Laboratorio de Osteología del Posgrado en Antropología Física, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
  - 2 Laboratorio de Antropología Física, Departamento de Anatomía, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.
  - 3 Laboratorio de Antropología y Odontología Forense, Licenciatura en Ciencia Forense, Universidad Nacional Autónoma de México.
  - 4 Forensic Anthropology Program, Washburn University.

## ABSTRACT

Estimation of sex from the analysis of bone remains represents the starting point when establishing the biological profile of an unidentified individual (sex, age, height and ancestry). Numerous morphoscopic and morphometric methods for sex estimation have been proposed. With the aim of offering a balance of the methodologies that can be used for sexing the skeleton, we review the national and international specialized literature. Initially, we treat the bibliographic references in a general way, considering exhaustively the methodologies that have been proposed in the field of Mexican forensic anthropology and, posteriorly, we presented some proposals for the pelvic girdle and skull bones in detailed. In our work, we refer to the importance of performing a mathematical approach -probabilistic- for sexing unidentified individuals in the field of forensic anthropology, allowing to us give a criterion of reliability and robustness to sexual estimation.

## INTRODUCCIÓN

La estimación sexual juega un papel importante en el análisis del esqueleto, siendo uno de los componentes esenciales al momento de establecer el perfil biológico en antropología (sexo, edad, estatura y ancestría) (Gómez-Valdés et al., 2012). Sin embargo, en el campo de la antropología forense los atributos biológicos individuales como el sexo son fundamentales para establecer la identidad de un sujeto al comparar los resultados del diagnóstico esquelético con la información *antemortem* (White y Folkens, 2005).

Así mismo, los datos relativos al sexo de un individuo son el punto de partida para una gran parte de los análisis esqueléticos subsecuentes.

La probabilidad de éxito en la estimación del sexo es más confiable en individuos maduros que sobrepasaron el brote puberal, dado que durante la adolescencia las diferencias entre sexos suelen hacerse más marcadas y los métodos para reconocer el sexo a partir de restos esqueléticos son más confiables (Ubelaker, 1984).

Las recomendaciones para las buenas prácticas en el ámbito de la antropología forense a nivel internacional aconsejan no evaluar el sexo en casos de restos fetales e infantes menores de doce años; debido a que no se han estandarizado procedimientos aplicados a la investigación forense de infantes que garanticen, por un lado, obtener resultados replicables (intra e interobservador) y, por otro lado, obtener estimaciones correctas con probabilidades altas de confiabilidad. Sin embargo, en algunos casos, cuando los componentes del hueso coxal se encuentran fusionados, al rededor de los catorce años de edad, se podrían aplicar los métodos tradicionalmente implementados para adultos (SWGANTH, 2010; ALAF, 2016).

Para estimar el sexo de un sujeto adulto a partir de sus restos óseos se han desarrollado numerosas propuestas metodológicas (también llamados estándares), basadas en el análisis métrico y/o morfoscópico -pudiendo denominarse análisis visual o análisis no-métrico- de los huesos de la pelvis, del cráneo y del esqueleto postcraneal.

En antropología biológica, tanto en el ámbito de la bioarqueología como en el de la antropología forense, se considera que los huesos de la pelvis son los que mejor expresan la variabilidad del dimorfismo sexual en sujetos maduros; de ahí que sean estas estructuras las que más se utilizan para la estimación sexual (Krogman, 1962; Buikstra y Ubelaker, 1994; Bass, 2005; White y Folkens, 2005; Hernández y Lagunas, 2015). No obstante, trabajos recientes demuestran la posibilidad de realizar estimaciones sexuales con altas probabilidades de éxito a partir del análisis métrico de otros huesos del esqueleto postcraneal (Spradley y Jantz, 2011). Por otra parte, es bien sabido de la implementación de métodos morfoscópicos y/o morfométricos basados en la morfología gruesa craneana para distinguir el sexo de un espécimen en casos arqueológicos o forenses (Giles y Elliot, 1963; Ubelaker, 1989; Novotny et al., 1993; Buikstra y Ubelaker, 1994; Konigsberg y Hens, 1998; Graw, et al., 1999; Kemkes y Gobel, 2006; Walker, 200). Para la estimación de los parámetros generales como el sexo en series esqueléticas a través de los huesos del conjunto pélvico se han desarrollado diversas propuestas metodológicas; las cuales se enfocan tanto en el análisis morfoscópico (Genovés, 1959, 1962; Phenice, 1969; Bruzek, 2002; Klales et al., 2012) como morfométrico (Murail et al., 2005).

## DIMORFISMO SEXUAL

El dimorfismo sexual es un rasgo común a todos los primates vivos y extintos; con un patrón característico consistente en mayor tamaño y robustez por parte de los sujetos del sexo masculino con respecto a los del sexo femenino (Plavcan, 2001). Además, el patrón del dimorfismo sexual humano presenta un sesgo asimétrico en la distribución de los sexos, de esta manera se puede observar un mayor traslape de los sujetos del sexo masculino hacia el gradiente del sexo femenino y, contrario a ello, una menor densidad de sujetos femeninos en el campo de la variación del sexo masculino. Así mismo, en el extremo de menor robustez existen sujetos del sexo masculino que pueden presentar cualidades morfológicas, en términos de tamaño y forma, semejantes a las del sexo femenino. Es decir, podría plantearse una hipótesis que sostenga que un porcentaje considerable de sujetos del sexo masculino muestran patrones de gracilidad y tamaño semejantes a los sujetos hiperfemeninos. Por el contrario, podríamos considerar existe una menor proporción de mujeres con características hipermasculinas.

Esto puede ser mejor comprendido, si apreciamos que, aunque existen diferencias significativas en tamaño y forma entre los sexos de nuestra especie, ello depende en gran medida de la tendencia central de la variación. De esta manera, Bruzek y colaboradores (2006) mencionan que el dimorfismo sexual comprende dos elementos, por un lado, el correspondiente al tamaño, y por otro, el relativo a la forma (Bruzek et al., 2006). No obstante, los patrones de variación dimórfica no deben ser confundidos con las diferencias entre sexos; debido a que algunas estructuras pueden variar entre poblaciones y estar sesgadas por las diferencias del tamaño corporal (Bruzek et al., 1996).

## PRINCIPALES DIFERENCIAS SEXUALES DE LA PELVIS

Los huesos del conjunto pélvico se relacionan entre sí estructuralmente para soportar y dar estabilidad a tejidos blandos y órganos. Dicha estructura ósea se encuentra articulada de manera funcional para mantener la posición erecta y la marcha bípeda. La bipedestación ha llevado a la selección de una morfología particular y altamente especializada en los humanos anatómicamente modernos (Lovejoy, 2005a; b).

La configuración de un canal para el parto (en el caso femenino) es la principal fuente de variación entre sexos en los huesos del conjunto pélvico de nuestra especie (Tague y Lovejoy, 1998).

La función de contención de órganos, el modelado evolutivo y la relación con el parto hacen que los huesos de la pelvis proporcionen los datos más abundantes y seguros para la estimación del sexo en series esqueleticas.

Jaroslav Bruzek y otros han mencionado que la pelvis es la única parte del esqueleto que presenta una integración funcional debida al dimorfismo sexual; como resultado de las presiones constantes impuestas principalmente por la configuración del canal de parto, lo cual, ha llevado a plantear que este patrón es estable a todas las poblaciones humanas (Murail et al., 2005).

Las diferencias significativas entre sexos en la morfología del esqueleto se consideran de tamaño y forma. La pelvis en el sexo masculino, generalmente, es más robusta y con inserciones musculares marcadas, su escotadura ciática es estrecha con un ángulo aproximado de 30°, el área auricular tiende a ser plana, el acetábulo grande y el pubis es corto y con ángulo subpúbico menor. Por otro lado, en el sexo femenino, generalmente, la pelvis es ancha, con escotadura ancha formando un ángulo de 60°, se presenta un surco preauricular, acetábulo pequeño, pubis largo y con ángulo sub-púbico mayor, además, suele presentarse una cresta del arco ventral de la rama isquiopúbica y una depresión o concavidad subpúbica (Ubelaker, 1984) (figura 1).

## PRINCIPALES DIFERENCIAS SEXUALES DEL CRÁNEO

En cuanto a las características del dimorfismo sexual del cráneo y que se consideran trascienden a la variación interpoplacional, Walker (2008) ha distinguido cinco componentes. De esta manera, se menciona que los individuos del sexo masculino presentan marcado incremento en la robustez de la cresta nual; la cual se proyecta a una considerable distancia desde el hueso y puede formar un reborde bien definido. Así mismo, en el sexo masculino el proceso mastoideo suele ser masivo con longitudes y anchuras que superan varias veces la del meato auditivo externo. Por otra parte, se considera el margen supra-orbital es aguzado en el sexo femenino y en el masculino redondeado. De igual manera,



**Figura 1.** Huesos de la cintura pélvica mostrando los rasgos para la diferenciación entre sexos.

Se muestra la vista superior, ventral (anterior) y lateral. En el lado izquierdo se presentan los huesos correspondientes a un sujeto del sexo femenino y del lado derecho los de un masculino. Ambos casos se tratan de individuos que forman parte de la población mexicana contemporánea (Colección-UNAM). En general, es posible apreciar que los sujetos del sexo femenino presentan una cavidad pélvica con mayor amplitud debido a la elongación del pubis, así mismo la pelvis ósea es baja y ancha, con un ángulo subpúbico obtuso y con mayor proyección de la porción del borde posterior de la escotadura ciática. Mientras la pelvis ósea de los sujetos masculinos presenta una cavidad reducida demostrando eversion de las espinas isquiáticas, un ángulo subpúbico más bien agudo y la escotadura ciática estrecha.

Fuente: *Elaboración propia*

la relación existente entre la cresta supraorbital y la proyección glabellar suele demostrar, en el sexo femenino, una superficie frontal lisa con poca o ninguna proyección; mientras que para el sexo masculino la glabella y/o la cresta supraorbital pueden alcanzar un tamaño considerable y mostrar una proyección redondeada formando incluso una saliente. Por último, se considera que la eminencia del mentón en el sexo femenino presenta poca o ninguna proyección sobre el hueso que la rodea, mientras que esta eminencia suele mostrar mayor protrusión en el sexo masculino; ocupando la mayor parte de la región anterior del cuerpo mandibular (Walker, 2008) (figura 2).

## METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN SEXUAL

En México se han desarrollado algunas propuestas metodológicas para la estimación del sexo analizando el cráneo y la mandíbula (Lagunas, 1975; Ábrego y Concha, 2017; Álvarez et al., 2017; Nava, 2018) así como también con base al estudio de los huesos de la pelvis (Genovés, 1959, 1962; Aguirre y Dorantes, 2007; Gómez-Valdés et al., 2011, 2012, 2017; Sánchez-Mejorada et al., 2011; Spradley et al., 2015; Barragan, 2018; Miranda, 2018) y la examinación de algunos hueso que componen al

esqueleto postcraneal (López Alonso, 1967; Vargas et al., 1973; Pimienta, 2000; Torres, 2002; Pimienta y Gallardo, 2005; Escorcía et al., 2007; Escorcía, 2008, 2015; Mastrangelo et al., 2011; Velemínská et al., 2013; Spradley et al., 2015; Duque y Blandón, 2016; Hudson et al., 2016; Torres et al., 2018; Zamora, 2019).

El grueso de las propuestas que han sido desarrolladas, para su aplicación en población mexicana, se enfocan en el análisis morfométrico; en algunos casos implementando el análisis de funciones discriminantes y en otros con tratamientos matemáticos convencionales, no obstante, un número reducido de trabajos han puesto la atención en el estudio de rasgos no-métricos o



**Figura 2.** Cráneo y mandíbula mostrando los rasgos para la diferenciación entre sexos.

Se muestra la vista frontal, lateral y basal. En el lado izquierdo se presenta el cráneo correspondiente a un sujeto del sexo femenino y del lado derecho el de un masculino. Ambos casos se tratan de individuos que forman parte de la población mexicana contemporánea (Colección-UNAM). En general, es posible apreciar que los sujetos del sexo femenino son más gráciles y con inserciones musculares menos marcadas, la glabella y la mastoides se encuentran con menor proyección, la cresta nucal es suave, el mentón suavizado. Mientras el cráneo masculino presenta inserciones musculares marcadas, mayor proyección glabellar, mastoides masiva, mentón eminente y marcada línea nucal.

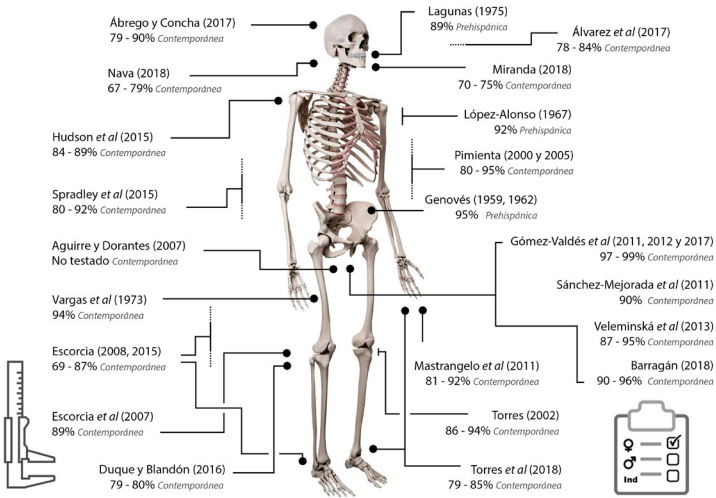
Fuente: *Elaboración propia*

morfoscópicos (visuales) (Genovés, 1959, 1962; Aguirre y Dorantes, 2007; Gómez-Valdés et al., 2017) (figura 3).

### ANÁLISIS NO-MÉTRICO DE LOS HUESOS DE LA CINTURA PÉLVICA

Una investigación realizada por el profesor Terrell Wayne Phenice permitió observar que, por medio del análisis del arco ventral, la concavidad subpúbica y el aspecto medial de la rama isquiopúbica se pueden obtener resultados con una precisión superior al 95% al momento de establecer el sexo de un individuo. El método originalmente descrito en los años sesentas del siglo pasado demostró ser lo suficientemente objetivo y preciso con el análisis de un pequeño fragmento del hueso coxal (Phenice, 1969).

El profesor Phenice describió el arco ventral (VA *ventral arc*) como una cresta de hueso ligeramente elevada que se extiende a partir del margen del pubis e inferiormente atraviesa los arcos a través de la superficie ventral y en dirección opuesta a la extensión de mayor concavidad; donde ésta interseca con el borde medial de la rama púbrica isquiática y recomienda sea puntuado orientando el pubis en su aspecto ventral y de frente al observador. Respecto a la concavidad subpúbica (SPC por sus siglas en inglés) agrega que en el sexo femenino es posible apreciar una curvatura lateral sobre la rama isquiopúbica, a una distancia corta del margen inferior de la sínfisis y este carácter debe ser evaluado en vista dorsal. Por último, el aspecto medial de la rama isquiopúbica (MA por sus siglas en inglés) en el sexo femenino se encuentra presente una cresta angosta en la porción medial de la rama isquiopúbica, en contraste con la



**Figura 3.** Esquema donde se ilustra los avances en el desarrollo de estándares (métricos y morfoscópicos) para la estimación sexual en población mexicana.

Es importante notar los aportes de Santiago Genovés quien definió una serie de caracteres que han venido siendo la guía básica para el diagnóstico del sexo en restos óseos y que han servido para entender las diferencias sexuales en el hueso coxal. Otros trabajos, aunque no se tratan de aportes enfocados a la antropología forense, han servido como antecedentes para el desarrollo de esta disciplina. Llama la atención que un número (nueve de las veintisiete) considerable de estos trabajos se trata de tesis de pregrado o posgrado desarrollados en instituciones educativas nacionales y del extranjero.

Fuente: Elaboración propia

superficie amplia del sexo masculino (Phenice, 1969) (figura 4).

En 2012 Klales y colaboradores realizaron una modificación al método de Phenice (1969) proponiendo el análisis con base a una escala no-métrica ordinal del arco ventral, la concavidad subpúbica y el aspecto medial de la rama isquiopúbica. Justificando su propuesta, debido a que este abordaje de análisis permite hacer replicable las observaciones, con baja variación interpoblacional y donde es posible prescindir de equipamientos de medición (Klales et al., 2012). Además de ello, los autores han implementado el análisis de clasificación con base al modelado de los datos en una función de regresión logística.

El arco ventral (VA) es una cresta de hueso ligeramente elevada que se extiende desde el borde de la superficie sinfisaria y hasta donde intersecta con el borde medial de la rama isquiopúbica. Para observar correctamente este rasgo, uno debe orientar el pubis de modo que la superficie ventral esté directamente frente al observador y la sínfisis púbica se encuentre en un plano antero-posterior. En varones, la cresta suele estar ausente, aunque de manera ocasional puede observarse una línea en su lugar, pero su extremo inferior nunca está separado de la superficie sinfisial como en las mujeres (Ubelaker, 1984).

Para la definición del arco ventral Klales y colaboradores (2012) han mencionado que este carácter fue originalmente descrito únicamente como la presencia o ausencia de una cresta lineal de inserción muscular en el superficie ventral (Phenice, 1969), por lo que ampliaron el criterio agregando al diagnóstico la evaluación del ángulo o grado de orientación de la cresta ósea en relación a la cara de la sínfisis del pubis. Al mismo tiempo los autores han descrito cinco categorías ordinales para el diagnóstico de las variantes del arco ventral como se transcriben a continuación:

### Arco ventral (*Ventral arc*) (Klales et al., 2012)

1. El arco se encuentra presente aproximadamente en un ángulo de 40° con respecto a la sínfisis del pubis y se puede observar una triangulación de hueso situada inferiormente al arco.
2. El arco conforma un ángulo de aproximadamente 25° a 40° en relación con la cara sinfisial y se puede observar una pequeña

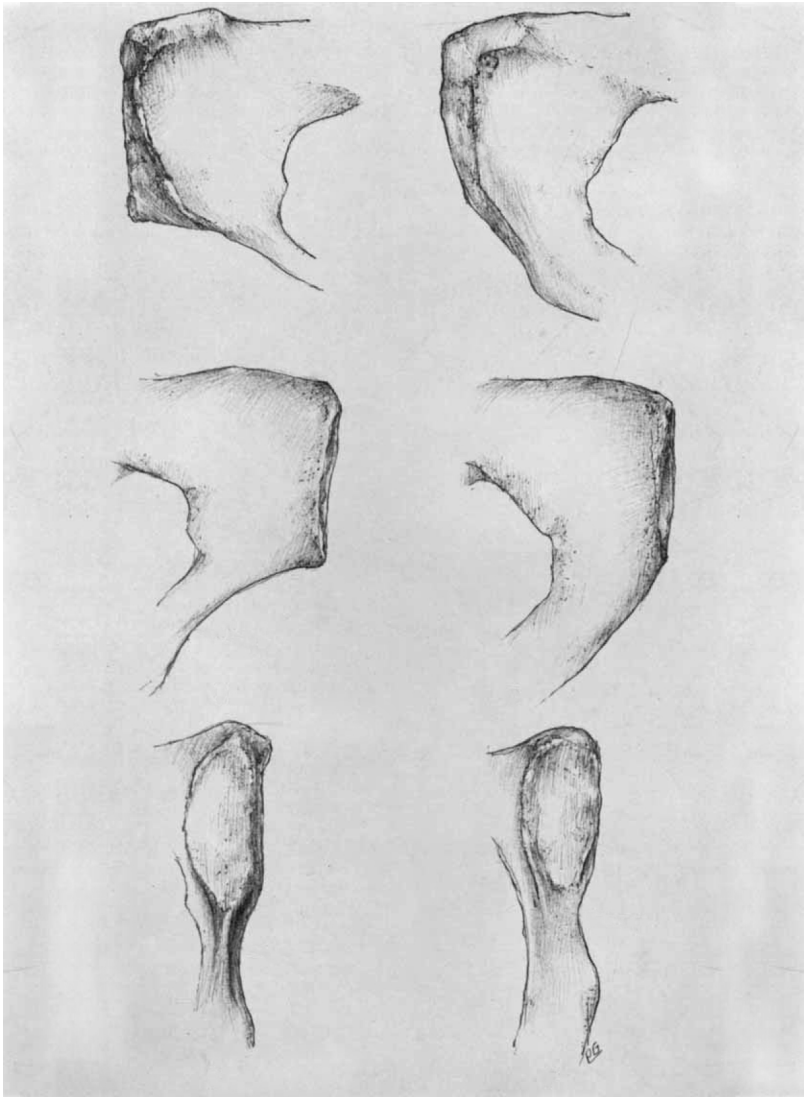
porción triangular de hueso situada inferiormente al arco.

3. El arco está presente en un ligero ángulo (menos de 25°) con respecto a la cara sinfisial con una pequeña porción no triangular de hueso situada inferiormente al arco.
4. El arco se encuentra presente aproximadamente paralelo a la cara sinfisial con casi ningún hueso adicional presente inferior al arco.
5. No hay arco presente y, por lo tanto, no hay hueso adicional presente inferior al arco.

En su definición original, la concavidad subpúbica fue descrita como una curvatura lateral del borde medial de la rama ascendente (en vista dorsal) situada inferior a la cara sinfisial (Phenice, 1969); con el propósito de ampliar los criterios de evaluación de dicho carácter, Klales y colaboradores (2012) utilizan el término “contorno” subpúbico para describir el rango de variación del rasgo desde una concavidad subpúbica, que se puede observar con mayor frecuencia en el sexo femenino, hasta una convexidad subpúbica, a menudo presente el sexo masculino. Adicionalmente, para establecer la curvatura los autores han considerado observar toda la longitud y la forma de la rama inferior del pubis. De esta manera se propone evaluar en vista dorsal toda el área debajo de la cara sinfisial incluyendo el borde medial. Por ello, la inclusión de la porción inferior del hueso púbico tiene en consideración la concavidad subpúbica y el ángulo subpúbico (Klales et al., 2012). Los autores han descrito cinco categorías ordinales para el diagnóstico de las variantes del contorno subpúbico como se transcriben a continuación:

### Contorno subpúbico (*Subpubic contour*) (Klales et al., 2012)

1. Presencia bien desarrollada de una concavidad ubicada inferiormente a la cara sinfisaria y a lo largo de la rama del pubis.
2. Presencia ligera de una concavidad ubicada inferiormente a la cara sinfisial y se encuentra extendida parcialmente hacia abajo de la rama inferior del pubis.
3. No hay concavidad presente, el hueso es casi recto (puede ser una muesca muy pequeña justo debajo de la cara sinfisial).



**Figura 4.** Rasgos del pubis descritos por Phenice (1969) para el sexo femenino (izquierda) y masculino (derecha).

De arriba a abajo: arco ventral, concavidad subpúbica y el aspecto medial de la rama isquio-púbica. De acuerdo a la propuesta original, las mujeres presentan una cresta ligera en el aspecto ventral del pubis, una concavidad en el aspecto dorsal del rama isquiopúbica y una cresta cuando la rama es vista en aspecto medial; mientras que en el sexo masculino estos caracteres se encuentran ausentes o se expresan en menor frecuencia.

Fuente: *Am J Phys Anthropol*, 1969, 30, 297-302.



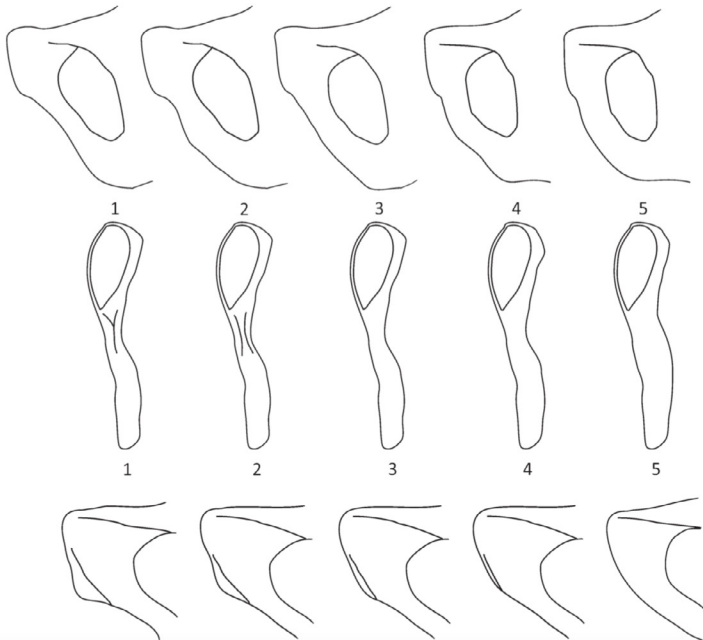
4. Convexidad ligera, especialmente pronunciada a lo largo de la rama púbica inferior.
5. Convexidad marcada, especialmente pronunciada a lo largo de la rama púbica inferior.

Finalmente, Klales y colaboradores (2012) han ampliado la definición del aspecto medial de la rama isquiopúbica para incluir el ancho dorsoventral de la rama ascendente, así como la presencia o ausencia de una cresta o meseta de hueso. También los autores han descrito cinco categorías ordinales para el diagnóstico de las variantes del aspecto medial de la rama isquiopúbica como se transcriben a continuación:

**Aspecto medial (Medial aspect of the ischio-pubic ramus, Figura 5) (Klales et al., 2012)**

1. La rama ascendente es estrecha vista en su aspecto dorsoventral y con una cresta aguda de hueso presente debajo de la cara sinfisial.
2. La rama ascendente es dorsoventral an-gosta con una cresta de hueso meseta / redondeada presente debajo de la cara sinfisial.
3. La rama ascendente es dorsoventral an-gosta sin una cresta presente.
4. La rama ascendente es dorsoventral de ancho medio sin cresta presente.
5. La rama ascendente es dorsoventral muy amplia sin una cresta presente.

Los autores aplicaron el análisis de regresión logística ordinal como método de clasificación del sexo y calcularon a partir de la función



**Figura 5.** Diagrama de los estadios de los caracteres y escala ordinal para el Contorno subpúbico (arriba), aspecto medial (en medio) y Arco ventral (abajo)

Fuente: Klales et al., 2012

de probabilidades de las puntuaciones de cada rasgo (arco ventral, contorno subpúbico y aspecto medial) obtenidas a partir de una muestra compuesta por sujetos de las colecciones Hamann-Todd Human Osteological Collection y la W.M. Bass Donated Skeletal Collection.

La regresión logística es un método estadístico que puede ser utilizado para predecir una variable categórica (sexo del individuo) en función de una o múltiples variables independientes (arco ventral, contorno subpúbico y aspecto medial) que fungen como variables predictoras. Por medio de iteraciones en la clasificación de los casos que pertenecen a un grupo conocido (sexo del individuo) dado por las puntuaciones de la variable dependiente (arco ventral, contorno subpúbico y aspecto medial) es posible estimar *a priori* un coeficiente de confiabilidad del modelo de regresión lineal para la clasificación a partir del porcentaje de sujetos clasificados correctamente.

Con el objetivo de contrastar la precisión de la ecuación propuesta por Kiales et al. (2012) para la estimación del sexo en la población mexicana contemporánea Gómez-Valdés y colaboradores (2017) analizaron una muestra de 203 huesos coxales de esqueletos adultos perteneciente a sujetos que integran a la Colección-UNAM y procedentes, también, del Cementerio de Santa María Xigui, Hidalgo en el centro de México. Los autores observaron que la ecuación original de Kiales produce un sesgo en la estimación del sexo respecto a los hombres (86–92% de precisión versus 100% de precisión en mujeres) y se recalibró la ecuación para un nuevo punto de corte para la estimación del sexo en población mexicana contemporánea.

La ecuación de regresión logística para aplicar a las puntuaciones de los tres rasgos (arco ventral, contorno subpúbico y aspecto medial) en sujetos que forman parte de la población mexicana contemporánea con un porcentaje de clasificación correcta superior al 99% de clasificación correcta es:

$$\text{Score} = 18.667(\text{VA}) + 30.361(\text{MA}) + 12.334(\text{SPC}) - 168.376$$

Si la puntuación (*score*) de la ecuación de regresión logística para un individuo desconocido es menor que cero, el individuo se clasificará como una mujer y viceversa. De esta manera, la probabilidad de ser mujer se puede calcular a través de la ecuación:  $p_f = \frac{1}{1 + e^{\text{score}}}$  y la probabilidad para los hombres está dada por:  $p_m = 1 - p_f$  (Press y Wilson, 1978).

## ANÁLISIS MÉTRICO DE LOS HUESOS DE LA CINTURA PÉLVICA

Los métodos de análisis multivariado han sido ampliamente desarrollados y aplicados en investigaciones de antropología biológica (Van Vark y Howells, 1984; Madrigal, 2012). Particularmente el análisis discriminante ha sido ampliamente utilizado en sujetos desconocidos como una alternativa para clasificar, de acuerdo a cualidades métricas y morfológicas, su pertenencia a un sexo (Montemayor y Jaén, 1960; Giles, 1970; Murail et al., 2005). El problema de saber si un espécimen determinado pertenece, según características cuantificables dadas, a cierto grupo previamente definido, se puede abordar en términos probabilísticos, con base a las distribuciones de cada una de las características consideradas y teniendo en cuenta la posición que ocupan dentro de la distribución del sujeto de que se trata (Montemayor y Jaén, 1960). El procedimiento de asignación, en este caso la pertenencia al sexo femenino o masculino, también se puede considerar en términos de la función discriminante lineal. La función discriminante es construida calculando puntuaciones (*scores* discriminantes) que resultan de la combinación lineal de las variables originales y maximizan la distancia entre las medias (multivariantes) del grupo. Con este enfoque, las medias o centroides del grupo se proyectan en la función discriminante para obtener una puntuación de sedimentación o punto de corte. De esta manera, la puntuación obtenida del producto de los valores que tomen las variables para un nuevo individuo puede ser comparada con respecto al punto de corte (Campbell, 1984).

Los métodos basados en el análisis de funciones discriminantes, merecen una consideración especial en el caso de antropología forense, debido a que se puede considerar que son procedimientos técnicos que requieren instrucciones precisas para la obtención de medidas osteométricas, no se requiere entrenamientos prolongados para la obtención de experiencia en la adquisición de medidas, la definición de las mediciones posee cierta objetividad, y los instrumentos para obtener mediciones pueden ser de costo razonable. Adicionalmente, se puede considerar un nivel de certidumbre con respecto a la estimación del sexo de cualquier espécimen simplemente al relacionar la puntuación de la función discriminante con un punto de corte reportado previamente para a partir de estándares

poblacionales que hayan sido obtenidos a partir de muestras de tamaño razonable (Giles, 1970).

En el caso de los métodos numéricos, en particular el análisis discriminante, es importante que se cuente con valores propios al interior de cada población, dado que los valores del punto de corte están afectados por la variabilidad intra-grupal quedando su aplicación acotada al rango de variación total de la muestra; así al contar con funciones discriminantes para la estimación del sexo en cada población humana se aumenta la probabilidad de clasificación correcta. Tomando en cuenta la necesidad de contar con funciones discriminantes con un enfoque específico-poblacional, Gómez-Valdés y colaboradores (2011) realizaron una propuesta metodológica de funciones discriminantes para la evaluación sexual de restos óseos pertenecientes a la población mexicana contemporánea. Se evaluaron un total de 146 huesos pélvicos humanos adultos (61 mujeres y 85 hombres) de la serie esquelética perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México (Colección-UNAM) y reportan funciones discriminantes con altos porcentajes de clasificación correcta.

Cuatro parámetros métricos altura pélvica total (TPH), anchura iliaca máxima (TIW), diámetro transversal acetabular (TAD) y longitud del pubis (PL) permitieron obtener funciones discriminantes en combinación lineal que pueden ser utilizadas con mayor o menor confiabilidad dependiendo del estado de conservación del hueso coxal (tabla 1).

Una definición operativa de cada una de las medidas y su referencia morfológica se ofrecen en la tabla 2 y la figura 6.

### ANÁLISIS NO-MÉTRICO DEL CRÁNEO

Una descripción sobre la cresta nugal, proceso mastoideo, reborde supraorbitario, proyección glabular y la eminencia mentoniana, descritos con anterioridad en los *Standards for Data Collection From Human Skeletal Remains* (Buikstra y Ubelaker, 1994), fue realizada por Walker (2008); considerando que se tratan de caracteres utilizados tradicionalmente por los antropólogos físicos y que son rasgos altamente dimórficos sexualmente.

Adicionalmente, con el objetivo de disminuir la subjetividad en las estimaciones visuales, el autor define puntajes para los rasgos craneales

**Tabla 1.** Funciones discriminantes para el hueso coxal en población mexicana contemporánea

	Función discriminante	Punto de corte	Probabilidad diagnóstica sexual
<b>Coxal derecho</b>			
Función 1	$y = 1.3973TPH - 0.7529TIW + 0.6481TAD - 1.0905PL$	112.51	99.1%
Función 2	$y = 1.3973TPH + 0.6481TAD - 1.0905PL$	224.76	92.7%
Función 3	$y = 0.6481TAD - 1.0905PL$	-52.18	79.2%
Función 4	$y = 0.6481TAD$	32.03	85.3%
<b>Coxal izquierdo</b>			
Función 1	$y = 0.9724TPH - 0.6239TIW + 0.4288TAD - 1.1295PL$	32.78	97.90%
Función 2	$y = 0.9724TPH + 0.4288TAD - 1.1295PL$	126.04	94.50%
Función 3	$y = 0.4288TAD - 1.1295PL$	-67.12	72.80%
Función 4	$y = 0.4288TAD$	21.14	86.80%

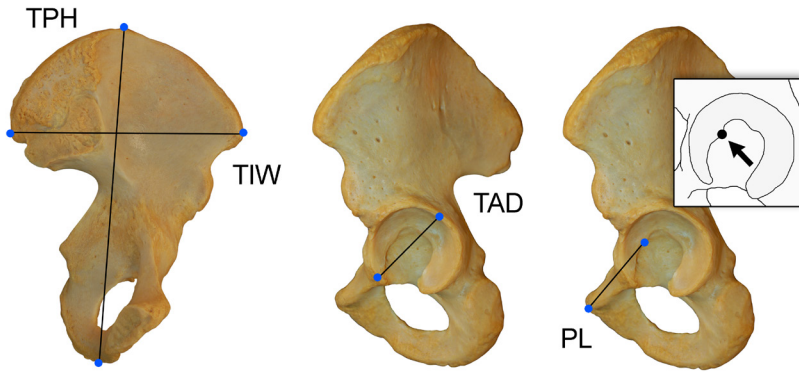
Cuando el valor calculado de "y" es menor que el punto de corte el individuo puede considerarse perteneciente al sexo femenino, de lo contrario se considera masculino. La función 1 evaluó las mayores probabilidades de sexado. Solo se incluyen las mejores combinaciones de variables, que clasifican correctamente a más del 70% de los individuos. Los subconjuntos de las funciones 2-4 son una alternativa para los huesos fragmentarios posibles. TPH, altura pélvica total; TIW, anchura iliaca máxima; TAD, diámetro transversal acetabular; PL, longitud del pubis.

Fuente: Gómez-Valdés et al., (2011).

**Tabla 2.** Parámetros métricos en el hueso coxal

Medida	Abreviatura	Definición
Altura pélvica total	TPH	Altura máxima del hueso coxal adquirida desde el punto más inferior de la tuberosidad isquiática hasta el punto más superior de la cresta iliaca, medido utilizando tabla osteométrica (Kelley, 1979).
Anchura iliaca máxima	TIW	Mayor distancia entre las espinas iliacas anterosuperior y postero-superior, medida con compás de corredera (Kelley, 1979).
Diámetro transverso acetabular	TAD	Diámetro acetabular máximo desde la eminencia púbica sobre el borde acetabular, utilizando compás de corredera (Schultz, 1930).
Longitud del pubis	PL	Medido utilizando compás de corredera desde el punto acetabular hasta el extremo superior de la sínfisis púbica (Comas, 1961). Comentario: el punto acetabular está representado por el ángulo anterior del lóbulo superior de la fosa acetabular (Rissech et al., 2001).

Fuente: Elaboración propia a partir de Schultz (1930), Comas (1961), Kelly (1979) y Rissech et al., (2001).



**Figura 6.** Ilustración de los parámetros métricos en el hueso coxal. Vista medial (izquierda) y dorsolateral (centro y derecha)

Fuente: Gómez-Valdés et al., (2011).

propuestos en su metodología e introduce un tratamiento estadístico para utilizar estos puntajes con la finalidad de desarrollar funciones discriminantes para la estimación del sexo (Walker, 2008).

El autor agrega que su propuesta abarca una escala ordinal que va de 1 a 5 y estos estadíos fueron observados en una muestra mundial

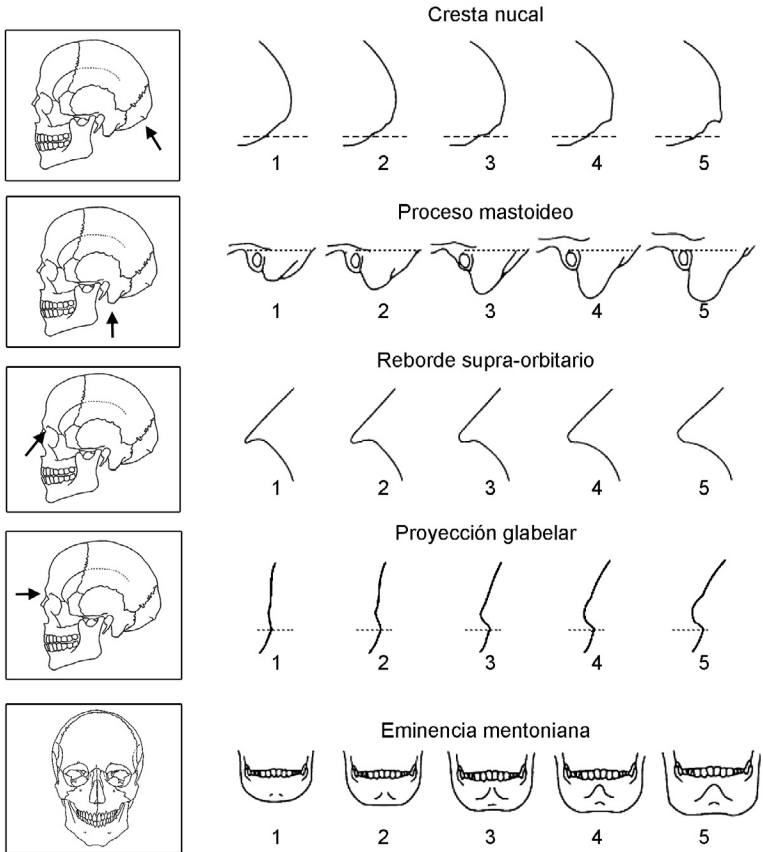
de cráneos en colecciones de museos. Sobre la base de este muestreo, el autor seleccionó un conjunto de muestras representativas y preparó un conjunto preliminar de dibujos para ilustrar cada rasgo, de esta manera, aunque los casos del extremo inferior [1] corresponden a sujetos del sexo femenino y por el contrario el sexo masculino se encuentra en el extremo superior [5],

el punto medio [3] no necesariamente representa el punto de corte óptimo para separar los sexos (Walker, 2008). Con lo anterior, se busca que los errores en la estimación del sexo (traslape entre sexos) sean similares en ambos sexos.

Con base a lo propuesto por Walker (2008:42) a continuación se transcriben los criterios de evaluación:

**Procedimientos de puntuación del cráneo (Walker, 2008)**

Se recomienda sostener el cráneo, sobre la mesa, a la altura de los brazos teniendo cercano el diagrama propuesto (figura 7). Orientar el cráneo para que sus características puedan compararse directamente con las ilustradas. El observador, puede mover el cráneo hasta obtener la coincidencia más cercana con respecto a las ilustraciones del diagrama. Por último, es importante te-



**Figura 7.** Diagrama para evaluar caracteres del dimorfismo sexual del cráneo.

Los números debajo de los diagramas son las puntuaciones que deben asignarse a los especímenes cuya morfología se asemeja más a la condición ilustrada.

Fuente: Modificada de Builstra y Ubelaker (1994) y Walker (2008).

ner en cuenta que se debe puntuar cada rasgo de forma independiente, ignorando las puntuaciones que se hayan asignado otras características.

Vea el perfil lateral del occipital y compárelo con los diagramas. Se puede palpar la superficie del occipital y observar cualquier rugosidad en su superficie. La característica importante por considerar, al calificar este rasgo, es el desarrollo de hueso en la superficie externa del occipital asociado con la unión de los músculos de la nuca (sobre el plano sagital); para lo cual se debe ignorar el contorno del hueso adyacente.

- a. Expresión mínima (Puntaje = 1).
- b. La superficie externa del occipital es lisa y sin proyecciones óseas visibles.
- c. Expresión máxima (Puntaje = 5).

Una cresta nucal masiva que se proyecta a una distancia considerable del hueso y forma un reborde (pudiendo encontrarse incluso curvado) de hueso bien definido.

### Proceso mastoideo (*Mastoid process*) (Walker, 2008)

Para evaluar el proceso mastoideo es importante tener en cuenta realizar la comparación del tamaño tomando en cuenta su proporcionalidad con respecto a las estructuras contiguas, como el meato auditivo externo y el proceso cigomático del hueso temporal. De esta manera, se busca poder evaluar el volumen del proceso mastoideo y no solamente su longitud.

- a. Expresión mínima (Puntaje = 1).

Un proceso mastoideo muy pequeño que se proyecta solo una pequeña distancia por debajo de los márgenes inferiores del meato auditivo externo y del surco digástrico.

- b. Expresión máxima (Puntaje = 5).

Un proceso mastoideo masivo varias veces más alto y ancho que la altura y anchura del meato auditivo externo.

### Reborde supraorbitario (*Supra-Orbital Margin*) (Walker, 2008)

Complementando el diagnóstico visual, se puede palpar el reborde de la órbita en el área lateral al foramen supraorbitario y establecer de esta manera la puntuación que coinciden más estrechamente.

- a. Expresión mínima (Puntaje = 1).

Extremadamente aguzado, el borde se palpa como el borde de un cuchillo sin filo.

- b. Expresión máxima (Puntaje = 5).

Un grueso borde redondeado con una curvatura que se aproxima a la de un lapicero.

### Proyección glabellar (*Supra-Orbital-Ridge/Glabella*) (Walker, 2008)

Apreciando el cráneo desde su norma lateral se debe comparar la masividad del área formada por el arco superciliar y la glabella, con respecto del perfil de los diagramas.

- a. Expresión mínima (Puntaje = 1).

El contorno del frontal es suave, con poca o ninguna proyección en el área glabellar (La glabella se encuentran prácticamente en el mismo plano que nasion).

- b. Expresión máxima (Puntaje = 5)

La glabella y/o la cresta superciliar son masivas y tienen una proyección en forma de barra redondeada (La glabella se encuentran considerablemente proyectada anteriormente al nasion).

### Eminencia mentoniana (*Mental Eminence*) (Walker, 2008)

El diagnóstico visual de la puntuación correspondiente se debe realizar palpando el cuerpo mandibular. Sosteniendo la mandíbula entre los pulgares y los dedos índices, se debe palpar medialmente para delimitar los bordes laterales de la eminencia mentoniana.

- a. Expresión mínima (Puntaje = 1).

El área de la eminencia mentoniana es suave. Hay poca o ninguna proyección de la eminencia sobre el hueso circundante.

- b. Expresión máxima (Puntaje = 5).

Una eminencia mentoniana masiva que ocupa la mayor parte de la porción anterior del cuerpo de la mandíbula.

Aunque no se ha reportado una validación de la aplicación de las ecuaciones de regresión logística propuestas por Walker (2008) en población mexicana contemporánea, la ecuación propuesta para población indígena de Norteamérica puede ser aplicada con cierta confiabilidad siempre que se observen patrones de dimorfismo relacionados al tamaño corporal semejantes (alometría) y se observe un patrón de

traslape de casos intermedios parecido (*Sesgo del sexo* = % masculinos correctamente clasificados - % femeninos correctamente clasificados) (Rodríguez-Cuenca, 2004).

Las ecuaciones de regresión logística propuestas por el autor y que permiten estimar el sexo con entre el 70% y el 83% de confiabilidad en población Indígena de Norte América (Walker, 2008) se enlistan en la **tabla 3**.

### ANÁLISIS MÉTRICO DEL CRÁNEO Y MANDÍBULA

El diagnóstico sexual mediante análisis discriminante de variables métricas craneales fue propuesto por Giles y Elliot (1963), luego de una revisión que les permitió considerar que observadores experimentados al realizar diagnósticos sexuales en series esqueléticas de sexo conocido, el sexamiento es posible de realizar solo entre un 80% al 90% de los casos. Por medio de la incorporación, en antropología física, del análisis de funciones discriminantes se buscaba disminuir la cantidad de sujetos no determinados y realizar estimaciones con mayor sensibilidad y especificidad (Giles y Elliot, 1963).

En México, de manera notable, Montemayor y Jaen (1960) habían reportado previamente un ejemplo de aplicabilidad del análisis discriminante para la estimación del sexo mediante el análisis de variables métricas del cráneo.

Actualmente, a pesar de los esfuerzos que se han realizado para proponer metodologías para el sexamiento mediante análisis discriminante de la pelvis y del esqueleto postcranial

en población mexicana contemporánea, sólo se cuenta con una propuesta para análisis del cráneo para población procedente de Caltimacán, Hidalgo (Escorcía, 2008) y otra para población de la Ciudad de México (Ábrego y Concha, 2017).

De esta manera, Ábrego y Concha (2017) con el propósito de proponer una metodología para sexar cráneos analizaron un total de 113 cráneos (32.7% femenino y 67.3% masculino) que forman parte de la Colección-UNAM y que pertenecen a la población mexicana contemporánea (rango de muerte entre 1989 y 2005).

Utilizando instrumental osteométrico (compás de corredera y de ramas curvas) han analizado un total de 36 medidas craneales (**tabla 4** y **figura 8**, longitudes, diámetros, alturas, anchuras) del esplanocráneo, neurocráneo y basicráneo siguiendo las recomendaciones de Howells (1989). Posterior a realizar el análisis discriminante, las autoras han reportado cuatro funciones discriminantes con valores entre el 80% y 90% de clasificación correcta, incluyendo una función con todas las medidas, y de acuerdo con el método por inclusión por pasos, reportaron otras tres funciones discriminantes con diferentes combinaciones de variables. De éstas, la función discriminante con mayor porcentaje de clasificación correcta (89.9%) y con menor sesgo entre los sexos (*Sex bias*) (89.2% femenino re-clasificación y 90.7% masculino re-clasificación) corresponde a la Función 2 (Ábrego y Concha, 2017) y que se enuncia a continuación:

$$F2 = 0.39(BBH) + 0.276(ASB) + 0.701(ZYB) + 0.384(BPL) - 0.376(NLB) - 0.661(EKB) + 0.468(MDH)$$

**Tabla 3.** Ecuaciones del análisis de regresión logística para discriminar el sexo a partir de diversas combinaciones de puntajes de rasgos craneales para población Nativa Americana

Función discriminante	% clasificación correcta		% traslape sexos
	Femenino	Masculino	
$y = (orbit) -0.499 + (mental) -0.606 + 3.414$	78.1	77.9	0.2
$y = (mental) -0.576 + (mastoid) -1.136 + 4.765$	74.1	72.7	1.4
$y = (glabella) -0.797 + (mastoid) -1.085 + 5.025$	69.5	82.9	-13.4

El valor que puede tomar y dependiendo de las puntuaciones de cada variable corresponde a una posición en la distribución de la función discriminante en la cual el punto de corte entre femeninos y masculinos es 0. Los cráneos con un valor menor a 0 tienen más probabilidades de pertenecer al sexo femenino mientras que los cráneos con un valor mayor a 0 tienen más probabilidades de ser masculinos. orbit=Reborde supra-orbitario; mental=Eminencia mentoniana; mastoid=Proceso mastoideo y glabella=Proyección glabellar. Otras ecuaciones han sido reportadas bajo un enfoque de especificidad-poblacional.

Fuente: Walker (2008)

Tabla 4. Parámetros métricos del cráneo

Medida	Abreviatura	Definición
Altura bregma-basion	BBH	Distancia desde bregma a basion. Descanse el cráneo en el occipital, con el lado derecho hacia el observador y coloque la punta izquierda del calibre en bregma y encuentre basion. <i>Compás de ramas curvas.</i>
Anchura biasteriónica	ASB	Medida directa de asterion a asterion. Con el cráneo apoyado en la región frontal y el occipital hacia el observador, mida la distancia de uno al otro con las puntas agudas del compás. <i>Compás de ramas curvas.</i>
Anchura bicigomática	ZYB	Anchura máxima a través de los arcos cigomáticos, dondequiera que se encuentre, perpendicular al plano medio. <i>Compás de ramas curvas.</i>
Longitud basion-prostion	BPL	Longitud facial de prostion a basion. Con la base del cráneo hacia arriba, cara a la izquierda, medir entre prostion y basion. <i>Compás de ramas curvas.</i>
Anchura nasal	NLB	Distancia o anchura máxima entre los bordes anteriores de la abertura nasal. Utilice las puntas afiladas del calibre teniendo en cuenta que no es una medida interior. <i>Compás de corredera.</i>
Anchura biorbitaria	EKB	Anchura a través de las órbitas de ectoconquio a ectoconquio. Con la cara del cráneo hacia arriba. <i>Compás de corredera.</i>
Altura de la mastoides	MDH	Proyección perpendicular del mastoides por debajo del plano de Frankfurt (porion-orbital) y hasta el punto mastoidal. Se coloca el cráneo en su lado derecho y orientando el brazo fijo del compás de corredera a la altura del porion en el plano cefalométrico ajustar la corredera hasta encontrar el mastoidal con la otra punta. <i>Compás de corredera.</i>

Fuente: A partir de lo descrito por Langley y colaboradores (2016) y Ábrego y Concha (2017).

Las autoras han calculado los valores centroides para cada sexo y el punto de corte en la función discriminante ( $PC=144.7$ ), de tal manera cualquier resultado por debajo del punto de corte deberíamos considerar que corresponde al sexo femenino y para el sexo masculino el valor resultante en la función debería ser mayor al punto de corte.

Por su parte, Álvarez y colaboradores con el objetivo de desarrollar funciones discriminantes para la estimación de sexo por medio del análisis de la mandíbula en población mexicana contemporánea, analizaron 108 mandíbulas (30.6% del sexo femenino y 69.4% del masculino) de sujetos adultos que habitaron la Ciudad de México y que en la actualidad integran la Colección-UNAM. Los autores utilizando instrumental osteométrico (compás de corredera y mandíbulómetro) analizaron 18 parámetros de la mandíbula (tabla 5 y figura 9, alturas, anchuras, grosores y ángulos) siguiendo criterios estandarizados (Buikstra y Ubelaker, 1994; Vodanovic

et al., 2006) y propusieron cuatro funciones discriminantes con porcentajes de clasificación correcta entre el 76% al 79%. Es importante mencionar que los autores también reportan ecuaciones para una población indígena del Estado de Hidalgo que pueden ser consultadas en el manuscrito extenso (Álvarez et al., 2017).

Las funciones discriminantes descritas por los autores se incluyen en la **tabla 6**.

## CONSIDERACIONES FINALES

La estimación sexual corresponde al punto de partida en el análisis general del esqueleto humano en cualquier ámbito de la osteología antropológica; principalmente, debido a que los otros elementos del perfil biológico, como son la edad y la estatura, suelen depender del sexo que se trate cada sujeto.





**Figura 8.** Ilustración de los parámetros métricos en el cráneo

*Fuente: Modificada de Ábrego y Concha (2017).*

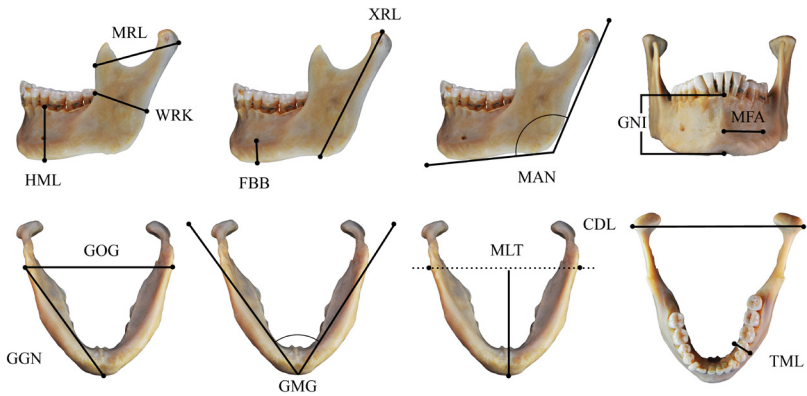
Es importante hacer hincapié en las recomendaciones para las buenas prácticas a nivel internacional respecto a la precaución de sexar sujetos inmaduros; de esta manera, se puede considerar que en la gran mayoría de los casos la estimación sexual no será posible realizar si no posterior a los catorce años de edad (SWGANTH, 2010).

Diversos autores centraron las bases para conocer las diferencias esqueléticas que existen entre los sexos (Genovés, 1959, 1962; Phenice, 1969), con base en ello, en el ámbito de la antropología forense los esfuerzos recientes se han centrado en la realización de propuestas metodológicas que permitan realizar estimaciones confiables y con base a metodologías que presenten bajo error de medida (intra e interobservador),

**Tabla 5.** Definición de medidas mandibulares

Medida	Abreviatura	Definición
<b>Altura de la sínfisis</b>	GNI	Distancia directa desde infradental a gnation. Puede estimarse en muestras ligeramente erosionadas a los incisivos laterales, si el alvéolo está reabsorbido notablemente el espécimen no se debe medir (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Grosor del cuerpo mandibular</b>	TML	Anchura máxima medida en la región del foramen mental perpendicular al eje del cuerpo de la mandíbula (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Altura del cuerpo mandibular</b>	HML	Distancia directa del proceso alveolar al borde inferior de la mandíbula perpendicular a la base a nivel del foramen mental (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Altura al foramen</b>	FBB	Distancia entre el foramen mental y el borde basal de la mandíbula (Vodanović, et al., 2006).
<b>Distancia foramen al mentón</b>	MFA	Distancia entre el foramen mental con el tubérculo mentoniano (Vodanović, et al., 2006).
<b>Anchura bigonial</b>	GOG	Distancia directa entre gonion derecho e izquierdo. Colocar las puntas del calibrador al punto más prominente exterior en los ángulos mandibulares. La bisectriz de este ángulo se encuentra con el borde mandibular en curva en gonion (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Anchura bicondilar</b>	CDL	Distancia directa entre los puntos más laterales en los dos cóndilos (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Anchura máxima de la rama</b>	MRL	Distancia entre el punto más anterior de la rama mandibular y la línea que conecta el punto más posterior del cóndilo y el ángulo de la mandíbula (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Anchura mínima de la rama</b>	WRK	Anchura mínima de la rama mandibular medida perpendicularmente a la altura de la rama (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Altura máxima de la rama</b>	XRL	Distancia directa desde el punto más alto en el cóndilo mandibular a gonion (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Longitud mandibular</b>	MLT	Distancia del margen anterior de la barbilla, de un punto central proyectada en línea recta a lo largo del borde posterior de los dos ángulos mandibulares. Colocar en la parte posterior móvil del mandíbulómetro el borde posterior de la rama mandibular y la placa fija con el punto más anterior del tubérculo mental. La mandíbula puede ser estabilizada aplicando presión con uno o dos dedos en el segundo molar izquierdo (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Longitud del cuerpo</b>	GGN	Distancia directa de gonion a gnation (Vodanović, et al., 2006).
<b>Ángulo mandibular</b>	MAN	Ángulo formado por el borde inferior del cuerpo y el borde posterior de la rama. La mandíbula puede ser estabilizada aplicando presión con uno o dos dedos en el segundo molar izquierdo (Buikstra y Ubelaker, 1994).
<b>Ángulo mentoniano</b>	GMG	Ángulo entre líneas de conexión del tubérculo mental con el gonion derecho e izquierdo (Vodanović, et al., 2006).

Fuente: Elaboración propia a partir de Buikstra y Ubelaker (1994) y Vodanović, et al., (2006).



**Figura 9.** Ilustración de los parámetros métricos en la mandíbula

Fuente: Tomada de Álvarez et al., (2017)

**Tabla 6.** Funciones discriminantes para la mandíbula en población Mexicana contemporánea

Función Discriminante	Punto de corte	Probabilidad diagnóstico sexual
$Y = 0.3612(GNI) - 0.0876(TML) - 0.4825(HML) + 0.2020(FBB) - 0.2235(MFA) + 0.3908(GOG) + 0.2803(CDL) + 0.1894(MRL) + 0.1722(WRK) + 0.5387(XRL) - 0.3255(MLT) + 0.3293(GGN) - 0.0525(MAN) - 0.0320(GMG)$	98.431	78.1
$Y = 0.3576(GNI) - 0.0824(TML) - 0.4939(HML) + 0.1692(FBB) - 0.2174(MFA) + 0.3470(GOG) + 0.2840(CDL) + 0.1698(MRL) + 0.2097(WRK) + 0.5535(XRL) - 0.3322(MLT) + 0.3660(GGN)$	107.08	78.7
$Y = 0.3461(GNI) - 0.4969(HML) + 0.2099(FBB) - 0.2355(MFA) + 0.3319(GOG) + 0.2849(CDL) + 0.1836(MRL) + 0.1703(WRK) + 0.5520(XRL) - 0.3101(MLT) + 0.3795(GGN)$	108.03	76.4
$Y = 0.3612(GNI) - 0.0876(TML) - 0.4825(HML) + 0.2020(FBB) - 0.2235(MFA) + 0.3908(GOG) + 0.2803(CDL) + 0.1894(MRL) + 0.1722(WRK) + 0.5387(XRL) - 0.3255(MLT) + 0.3293(GGN) - 0.0525(MAN) - 0.0320(GMG)$	103.19	76.7

Cuando el valor calculado de "y" es menor que el punto de corte el individuo puede considerarse perteneciente al sexo femenino, de lo contrario se considera masculino. La función 2 evaluó las mayores probabilidades de sexo. CDL: anchura bicondilar; FBB: altura al foramen; GGN: longitud del cuerpo; GMG: ángulo mentoniano; GNI: altura de la sínfisis; GOG: anchura bigoniat; HML: altura del cuerpo mandibular; MAN: ángulo mandibular; MFA: distancia foramen al mentón; MLT: longitud mandibular; MRL: anchura máxima de la rama; TML: grosor del cuerpo mandibular; WRK : anchura mínima de la rama; XRL: altura máxima de la rama.

Fuente: Tomada de Álvarez et al., (2017).

alta replicabilidad y una base matemática -generalmente probabilística-. De esta manera, los caracteres morfológicos de diferenciación entre sexos (diferencias de tamaño y forma de estructuras de los huesos de la pelvis, del cráneo y del esqueleto postcranial) tradicionalmente empleados en antropología biológica se han retomado con el propósito de definir indicadores específicos en el ámbito de la antropología forense. Con ello, los indicadores específicos de diferenciación sexual son tratados como variables categóricas (ausente o presente en alguno de los sexos), variables no-métricas (en escala ordinal) y variables métricas. Pero como Genovés (1962:80) menciona:

*"ninguna característica única mesurable de ningún hueso servirá jamás por sí sola para distinguir a dos individuos diferentes [...] sexualmente, si no que solamente después de un examen crítico de la combinación de todos los caracteres de que dispongamos podremos llegar a resultados que tengan valor".*

A lo cual podríamos añadir, aunque algunas características esqueléticas puedan ser evaluadas por su ausencia o presencia entre los sexos, una aproximación analítica basada en la distribución continua (ordinal o cuantitativa) de los caracteres convencionalmente analizados para sexar esqueletos permite apreciar, por un lado, considerar que los caracteres no son exclusivos de los sexos, por otro, que los patrones de variación entre sexos se encuentran afectados poblacionalmente. No obstante, es importante hacer un énfasis respecto al impacto en términos metodológicos que ha tenido el análisis de los indicadores específicos del dimorfismo sexual y su tratamiento como variables continuas u ordinales, sobre todo, debido a la posibilidad de realizar análisis matemáticos (univariados o multivariados) de clasificación (análisis de funciones discriminantes, análisis de funciones de regresión logística, algoritmos de búsqueda aleatoria -*random forest*-, redes neuronales, entre otras). Todo lo anterior, ha permitido dotar de especificidad (indicadores morfológicos específicos del dimorfismo sexual) y sensibilidad (escala de medición ordinal o continua) al diagnóstico del sexo a partir del análisis esquelético, pero la implementación de análisis matemáticos ha logrado que el sexamiento sea realizado bajo un enfoque probabilístico; el cual permite darle al investigador forense un criterio de argumentación para el diagnóstico final del sexo. Recien-

temente, ha sido reportado que la relación especificidad-sensibilidad es de suma importancia para el análisis de caracteres para la estimación sexual, Gómez-Valdés y colaboradores (2017) realizando una calibración del método de Klales, identificaron el sesgo que produce la estimación del sexo respecto a los hombres (86-92% de precisión versus 100% de precisión en mujeres), cuando los puntos de corte de la ecuación no están ponderados para la variación observada en población mexicana contemporánea, e incluso mucho más importante, cuando se trata de un componente indígena. Ello hace reflexionar en la aplicación de los métodos de estimación sexual sin un contexto de población dependencia y la alta posibilidad de que se cometa un error. Después otra dimensión de importancia en la estimación sexual respecto de la especificidad-sensibilidad, lo es la técnica empleada, por ejemplo, al comparar los métodos visuales, de ángulos y morfométricos para el sexamiento por la forma de la escotadura ciática (Gómez-Valdes et al., 2012), se observa que la morfometría geométrica, brinda mejor captura de la forma del carácter en estudio, ello sin dejar a un lado que estimar el sexo con un ángulo es igualmente certero. Así, los rubros de población dependencia y reproducibilidad en los métodos para la estimación sexual permiten entender la necesidad de sistematización del uso de técnicas de fenotipado ceteras para el caso forense y de la generación de colecciones nacionales para referencia forense.

En México se cuentan con aportes, desde tiempos tempranos, respecto a metodologías para la estimación del sexo desde un abordaje morfométrico (Montemayor y Jaén, 1960) y morfoscópico (Genovés, 1959, 1962). No obstante, gran parte de los aportes que fueron realizados con base al estudio de colecciones esqueléticas antiguas y dentro del marco epistemológico de la osteología antropológica y lo que posteriormente conocemos como bioarqueología.

No fue hasta que se conformaron las colecciones esqueléticas de referencia (con datos de edad y sexo conocidos) que se realizaron los primeros trabajos con un enfoque antropológico forense en México.

La antropología forense ha desarrollando técnicas con base en una perspectiva específica-poblacional con el propósito de aumentar su capacidad para tratar con poblaciones diversas en todo el mundo, donde existan patrones alométricos diferenciales (İşcan, 2005) y particu-

lares condiciones demográficas (Spradley et al., 2008).

Aunque en el ámbito forense el sexo de un sujeto forma parte de los datos básicos para construir el perfil biológico, conocer el sexo permite, por un lado, acortar los criterios de búsqueda que permitan aproximarse a la identidad de un individuo desconocido y, por otro lado, se puede utilizar el dato para la creación de bancos

de datos forenses y elaborar estadísticas demográficas.

En fechas recientes se han realizado esfuerzos importantes, que obedecen tanto a las necesidades de contar con criterios científicos en identificación humana, como a la de adecuarse a una diversidad de análisis de contextos osteológicos complejos.

## REFERENCIAS CITADAS

- Ábrego D, Concha A. 2017. Análisis de funciones discriminantes para la asignación sexual en cráneos de la población mexicana contemporánea (Colección-UNAM).
- Aguirre I, Dorantes L. 2007. La utilización del canal preauricular y el canal de la sínfisis púbica como indicador de sexo y paridad en casos de identificación humana.
- ALAF. 2016. Guía latinoamericana de buenas prácticas para la aplicación en Antropología Forense. Bogotá, Colombia. Available from: <http://alafforense.org>
- Álvarez E, Menéndez A, Torres G, Sánchez-Mejorada G, Gómez-Valdés JA. 2017. Análisis de funciones discriminantes para la estimación del sexo con la mandíbula en población mexicana. *Rev Española Med Leg* 43:146–154.
- Barragan D. 2018. Contrastación del método Diagnóstico Sexual Probabilístico (DSP) en contexto forense mexicano. Estudio de tres colecciones osteológicas contemporáneas.
- Bass WM. 2005. Human osteology: a laboratory and field manual. 5th editio. Missouri Archaeological Society; Lab Manual edition.
- Bruzek J. 2002. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *Am J Phys Anthropol* 117:157–168.
- Bruzek J, Castex D, Majo T. 1996. Évaluation des caractères morphologiques de la face sacro-pelviennne de l'os coxal. Proposition d'une nouvelle méthode de diagnose sexuelle. *Bull Mem Soc Anthropol Paris* [Internet] 8:491–502. Available from: [https://www.persee.fr/doc/bmsap\\_0037-8984\\_1996\\_num\\_8\\_3\\_2465](https://www.persee.fr/doc/bmsap_0037-8984_1996_num_8_3_2465)
- Bruzek J, Franciscus R, Novotny V, Trinkaus E. 2006. The Assessment of Sex. In: Trinkaus E, Svoboda J, editors. *Early Modern Human Evolution in Central Europe. The People of Dolní Vestonice and Pavlov*. 1st ed. New York, USA: Oxford University Press. p 46–62.
- Buikstra JE, Ubelaker DH. 1994. Standards for data collection from human skeletal remains. *Arkansas Archaeol Surv Res Ser* 44.
- Campbell NA. 1984. Some Aspects of Allocation and Discrimination. In: *Multivariate Statistical Methods in Physical Anthropology*. Dordrecht: Springer Netherlands. p 177–192. Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-94-009-6357-3\\_12](http://link.springer.com/10.1007/978-94-009-6357-3_12)
- Duque D, Blandón X. 2016. Análisis de funciones discriminantes de la patela para determinar dimorfismo sexual en una muestra de población mexicana contemporánea.
- Escorcía L. 2008. Dimorfismo sexual de los esqueletos contemporáneos de Caltimacán, Tasquillo, Hidalgo a partir del análisis discriminante.
- Escorcía L. 2015. Determinación del sexo en el hueso calcáneo de población mexicana por medio de funciones discriminantes. *Estud Antropol Biológica* [Internet] 17:93–104. Available from: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/eab/article/view/56840>
- Escorcía L, Lazcano E, García B. 2007. Determinación de sexo a través de funciones discriminantes de la rótula en esqueletos humanos contemporáneos provenientes de Caltimacán, Tasquillo, Hidalgo. *Estud Antropol Biológica* [Internet] 13:133–145. Available from: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/eab/article/view/21600>

- Genovés S. 1959. Diferencias sexuales en el hueso coxal. 1. Ed. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Historia, Dirección General de Publicaciones.
- Genovés S. 1962. Introducción al diagnóstico de la edad y del sexo en restos óseos prehistóricos. 1. Ed. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Historia, Dirección General de Publicaciones.
- Giles E. 1970. Discriminant function sexing of the human skeleton. In: Stewart TD, editor. *Personal Identification in Mass Disasters*. 1st Edición. Washington, D.C.: Smithsonian Institution. p 99–109. Available from: <https://library.si.edu/digital-library/book/personalidentifi00semi>
- Giles E, Elliot O. 1963. Sex determination by discriminant function analysis of crania. *Am J Phys Anthropol* 21:53–68.
- Gómez-Valdés J, Torres G, Baez S, Herrera P, Castrejón José Luis, Sánchez-Mejorada G. 2011. Discriminant function analysis for sex assessment in pelvic girdle bones: Sample from the contemporary Mexican population. *J Forensic Sci* 56:297–301.
- Gómez-Valdés JA, Menéndez Garmendia A, García-Barzola L, Sánchez-Mejorada G, Karam C, Baraybar JP, Klales A. 2017. Recalibration of the Klales et al. (2012) method of sexing the human innominate for Mexican populations. *Am J Phys Anthropol* [Internet] 162:600–604. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/ajpa.23157>
- Gómez-Valdés JA, Quinto-Sánchez M, Menéndez Garmendia A, Velemínska J, Sánchez-Mejorada G, Bruzek J. 2012. Comparison of methods to determine sex by evaluating the greater sciatic notch: Visual, angular and geometric morphometrics. *Forensic Sci Int* 221:7–10.
- Hernández P, Lagunas Z. 2015. *Manual de osteología*. 3rd ed. Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia - ENAH. Available from: <https://www.enah.edu.mx/publicaciones/detalle.php?ID=61>
- Howells WW. 1989. *Cranial Variation In Man. A Study By Multivariate Analysis Of Patterns Of Difference. Among Recent Human Populations*. Papers of. Cambridge: Cambridge: Harvard University Press.
- Hudson A, Peckmann TR, Logar CJ, Meek S. 2016. Sex determination in a contemporary Mexican population using the scapula. *J Forensic Leg Med* [Internet] 37:91–96. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1752928X15002127>
- Işcan MY. 2005. Forensic anthropology of sex and body size. *Forensic Sci Int* [Internet] 147:107–112. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073804005730>
- Klales AR, Ousley SD, Vollner JM. 2012. A revised method of sexing the human innominate using Phenice's nonmetric traits and statistical methods. *Am J Phys Anthropol* 149:104–114.
- Krogman WM. 1962. *The human skeleton in forensic medicine*. 1st Edición. Springfield, Illinois: Charles C Thomas.
- Lagunas Z. 1975. La determinación sexual en mandíbulas por medio de las funciones discriminantes. *An del Mus Nac México* [Internet] 4:171–178. Available from: <http://www.mna.inah.gob.mx/docs/anales/982.pdf>
- Langley NR, Jantz ML, Ousley SD, Jantz RL, Milner GR. 2016. *Data Collection Procedures for Forensic Skeletal Material 2.0*. 3rd ed. Knoxville: The University of Tennessee Department of Anthropology and Forensic Anthropology Center.
- López Alonso S. 1967. Las funciones discriminantes en la determinación sexual de los huesos largos.
- Lovejoy CO. 2005a. The natural history of human gait and posture. *Gait Posture* 21:95–112.
- Lovejoy CO. 2005b. The natural history of human gait and posture. *Gait Posture* [Internet] 21:113–124. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636204001183>
- Madrigal L. 2012. *Statistics for Anthropology*. 2nd Edición. Cambridge: Cambridge University Press. Available from: <http://ebooks.cambridge.org/refid/CBO9781139022699>
- Mastrangelo P, De Luca S, Sánchez-Mejorada G. 2011. Sex assessment from carpals bones: Discriminant function analysis in a contemporary Mexican sample. *Forensic Sci Int* [Internet] 209:196.e1–196.e15. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073811002040>
- Miranda T. 2018. Determinación de sexo a través de rasgos odontométricos en una muestra esquelética contemporánea de adultos de Zimapán, Hidalgo.

- Montemayor F, Jaén MT. 1960. Las funciones discriminantes en la investigación psicobiométrica. *An Inst Nac Antropol Hist* 11:219–242.
- Murail P, Bruzek J, Houët F, Cunha E. 2005. DSP: A tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bull Mémoires la Société d'Anthropologie Paris* [Internet] 17:167–176. Available from: <http://bmsap.revues.org/1157>
- Nava A. 2018. Diagnóstico sexual a través del triángulo mastoidal en población mexicana.
- Novotny V, Iscan Y, Loth S. 1993. Morphologic and osteometric assessment of age, sex, and race from the skull. In: Iscan M, Helmer R, editors. *Forensic analysis of the skull*. 1st ed. New York, USA: Wiley-Liss. p 71–88.
- Phenice TW. 1969. A newly developed visual method of sexing the os pubis. *Am J Phys Anthropol* [Internet] 30:297–301. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/ajpa.1330300214>
- Pimienta M. 2000. Dimorfismo sexual en una población mexicana. Nuevas formulas para la determinación del sexo en el esqueleto poscranial.
- Pimienta M, Gallardo A. 2005. Diferencias sexuales en el húmero: sugerencias para la determinación del sexo en restos óseos. *Península* [Internet] 1:243–257. Available from: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/peninsula/article/view/44298>
- Plavcan JM. 2001. Sexual dimorphism in primate evolution. *Am J Phys Anthropol* [Internet] 116:25–53. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/ajpa.10011>
- Press SJ, Wilson S. 1978. Choosing between Logistic Regression and Discriminant Analysis. *J Am Stat Assoc* [Internet] 73:699–705. Available from: <http://www.randfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1978.10480080>
- Rodríguez-Cuenca JV. 2004. *La antropología forense en la identificación humana*. Bogotá, Colombia.: Universidad Nacional de Colombia.
- Sánchez-Mejorada G, Gómez-Valdés J, Herrera P, Velemínsky P. 2011. Valoración del método de diagnóstico sexual probabilístico (DSP) en una colección osteológica mexicana. *Estud Antropol Biológica* XV:359–374.
- Spradley MK, Anderson BE, Tise ML. 2015. Postcranial Sex Estimation Criteria for Mexican Hispanics. *J Forensic Sci* [Internet] 60:S27–S31. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/1556-4029.12624>
- Spradley MK, Jantz RL. 2011. Sex estimation in forensic anthropology: Skull versus postcranial elements. *J Forensic Sci* 56:289–296.
- Spradley MK, Jantz RL, Robinson A, Peccerelli F. 2008. Demographic Change and Forensic Identification: Problems in Metric Identification of Hispanic Skeletons. *J Forensic Sci* [Internet] 53:21–28. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1556-4029.2007.00614.x>
- SWGANTH. 2010. Sex Assessment. Available from: <https://www.nist.gov/topics/forensic-science/anthropology-sub-committee>
- Tague RG, Lovejoy CO. 1998. AL 288-1—Lucy or Lucifer: gender confusion in the Pliocene. *J Hum Evol* 35:75–94.
- Torres G. 2002. Estudio métrico-morfológico de la rodilla: diferencias sexuales en una colección esquelética.
- Torres G, Menéndez Garmendia A, Sánchez-Mejorada G, Gómez-Valdés JA. 2018. Estimación del sexo con metacarpus y metatarsos para población mexicana. *Rev Española Med Leg* [Internet] In Press. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377473218300798>
- Ubelaker D. 1984. *Human skeletal remains. Excavation, analysis, interpretation*. 2d. Ed. Washington, D.C.: Taraxacum.
- Vargas LA, Ramírez ME, Flores L. 1973. El dimorfismo sexual en fémures mexicanos modernos. *An Antropol* [Internet] 10:329–336. Available from: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/antropologia/article/view/23294>
- Van Vark GN, Howells WW eds. 1984. *Multivariate Statistical Methods in Physical Anthropology*. Dordrecht: Springer Netherlands. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-009-6357-3>
- Velemínská J, Krajčák V, Dupej J, Gomez-Valdés JA, Velemínský P, Šeřčáková A, Pelikán J, Sánchez-Mejorada G, Bruzek J. 2013. Technical Note: Geometric morphometrics and sexual dimorphism of the greater sciatic notch

- in adults from two skeletal collections: The accuracy and reliability of sex classification. *Am J Phys Anthropol* [Internet] 152:558–565. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/ajpa.22373>
- Vodanovic M, Dumancic J, Demo Z, Mihelic D. 2006. Determination of sex by discriminant function analysis of mandibles from two Croatian archaeological sites. *Acta Stomatol Croat* 4:263–277.
- Walker PL. 2008. Sexing skulls using discriminant function analysis of visually assessed traits. *Am J Phys Anthropol* [Internet] 136:39–50. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/ajpa.20776>
- White T, Folkens P. 2005. *The Human Bone Manual*.
- Zamora AC. 2019. Diámetro de la cabeza del húmero y fémur como indicador de dimorfismo sexual en poblaciones prehispánicas [Under Review].



# 4

## Morfometría Geométrica para la Cuantificación de Rasgos del Perfil Biológico en Estudios Forenses

**Paula N. González<sup>1</sup>**

**Valeria Bernal<sup>2</sup>**

**S. Ivan Perez<sup>2</sup>**

**Palabras clave:** superposición Procrustes, análisis discriminante, pelvis, imágenes digitales, estimación del sexo.

### RESUMEN

La antropología forense se orienta a la construcción del perfil biológico y la identificación a nivel individual de restos humanos en contextos médico-legales. Con este fin, se vale de un amplio conjunto de técnicas entre las que se destaca la cuantificación de estructuras y rasgos morfológicos dentales y esqueléticos, tradicionalmente realizada a partir de medidas como distancias lineales y ángulos. Recientemente, se han comenzado a aplicar técnicas de morfometría geométrica, aunque su uso en casos forenses es todavía limitado. En este capítulo, se presenta una caracterización de la morfometría geométrica con especial énfasis en el tipo de datos empleados, los fundamentos del análisis de la forma y el tamaño dentro de esta aproximación; y los métodos estadísticos multivariados empleados para el estudio de la variación morfológica. Se desarrolla, asimismo, un ejemplo de su aplicación para la estimación del sexo a partir de rasgos de la pelvis. En particular, se describe el protocolo de obtención y análisis de datos morfométricos, y se puntualiza en la capacidad descriptiva y las ventajas a nivel de la interpretación y discusión de los resultados en relación con la morfometría tradicional.

---

1 Estudios en Neurociencias y Sistemas Complejos. CONICET-HEC-UNAJ. Florencio Varela. 1888. Argentina.

2 CONICET. División Antropología. UNLP. La Plata. 1900. Argentina.

## ABSTRACT

Forensic anthropology is oriented to the reconstruction of the biological profile and the individual identification of human remains in medico-legal contexts. To this end, this discipline uses a wide range of techniques, such as the quantification of morphological traits in dental and skeletal structures. Recently, the geometric morphometric techniques have begun to be applied in forensic studies, although their use is still limited. In this chapter, we characterized the geometric morphometric, with special emphasis on the type of data used, the fundamentals for the shape and size analysis and the multivariate statistical methods used for the study of morphometric variation. We also present an example of application of the geometric morphometric techniques for sex estimation using pelvic traits. In particular, we describe the protocol for obtaining and analyzing geometric morphometric data and pointed out their descriptive capacity and advantages at the level of interpretation and discussion of the results obtained in relation to traditional morphometric analyses.

## INTRODUCCIÓN

La antropología forense se orienta a la construcción del perfil biológico y la identificación a nivel individual, así como ayudar al esclarecimiento de las causas y manera de muerte en un contexto médico-legal (Cubo, 2012). Para ello utiliza un amplio conjunto de técnicas entre las que se destaca la cuantificación de estructuras y rasgos morfológicos dentales y esqueléticos que informan sobre la edad, el sexo, la estatura, ancestría, estado de salud y causas de muerte de los individuos, entre otros (Bass, 2005; Kieser et al., 2007; Gonzalez et al., 2009; Franklin et al., 2012; Stull et al., 2014; Spradley y Jantz, 2016; Martínez Vera et al., 2017). La cuantificación del tamaño y la forma de las estructuras morfológicas permite realizar comparaciones precisas y objetivas entre individuos y grupos de individuos, y entre individuos y estándares poblacionales, así como superar las descripciones cualitativas del tipo “más que” o “menos que” (e.g., la cresta ilíaca presenta una forma de “s” más marcada en individuos masculinos respecto de los femeninos) o expresadas apelando a categorías cualitativas discretas (e.g., el ángulo goniaco es “moderado” o “abierto”; Gonzalez et al., 2005).

Tradicionalmente, la antropología forense ha empleado técnicas cuantitativas basadas en diversos tipos de medidas como distancias lineales, ángulos, y proyecciones para obtener información acerca de variables que registran diferentes dimensiones (e.g., ancho, longitud) de los rasgos morfológicos. Estas variables han sido estudiadas en el contexto de análisis estadísticos uni y multivariados (Blackith y Reyment, 1971; Marcus, 1990; Bass, 2005). Sin embargo, esta aproximación presenta algunas limitaciones para recuperar información detallada de la mor-

fología –e.g., estructuras con curvaturas como el pubis y la escotadura ciática de la pelvis– y para preservar la misma en los análisis estadísticos subsiguientes (Adams et al., 2004, 2013; Slice, 2005). En este sentido, la capacidad y sensibilidad de las técnicas empleadas para capturar las diferencias de forma y tamaño de las estructuras analizadas influyen en gran medida en la posibilidad de obtener niveles adecuados de asignaciones correctas para las variables de sexo, edad o de ancestría tales que permitan realizar una reconstrucción confiable del perfil biológico de los individuos (Meindl y Russel, 1998; Gonzalez et al., 2009).

Entre fines de la década de 1980 y principios de 1990 el enfoque cuantitativo de la forma, que hoy se denomina morfometría geométrica, comenzó a afianzarse fuertemente (Adams et al., 2004). Los principales avances de esta aproximación que superan a la morfometría tradicional residen en: 1) la capacidad de describir y analizar la forma de estructuras con diferente grado de complejidad (e.g., estructuras curvas como la glabella en el cráneo; Gonzalez et al., 2011) mediante el registro de puntos, localizados tanto en rasgos discretos, como en contornos y superficies, que preservan la información espacial a través de los análisis; 2) el desarrollo de un método estadístico poderoso para cuantificar la variación en forma de la configuración completa de puntos de los especímenes; y 3) la visualización gráfica de las mismas (Rohlf y Marcus, 1993; Bookstein, 1996; Adams et al., 2004; Slice, 2005).

Hace casi dos décadas, las técnicas de morfometría geométrica se comenzaron a aplicar para resolver problemas en el campo de la antropología forense (Ross et al., 1999), aunque su utilización es todavía limitada (Franklin et al., 2007; Gonzalez et al., 2009; Wilson et al.,

2011; Zelditch et al., 2012; Ross et al., 2014). Esto puede deberse a que el empleo de tales técnicas requiere entrenamiento en el manejo de equipamiento específico para la recolección de datos, habilidades en el uso de *software* para la obtención y el procesamiento de las variables, y amplios conocimientos en métodos de análisis multivariados. En general, estos no se encuentran incluidos en los programas de formación curricular de los antropólogos forenses, es por ello que resulta de gran interés contar con material bibliográfico que sirva de referencia para quienes deseen incorporar estas técnicas a las prácticas de la disciplina.

Con este fin, en el presente capítulo se propone realizar una descripción de la morfometría geométrica, con atención a las características de los datos empleados, a los fundamentos del análisis de la forma y el tamaño, y a los métodos estadísticos multivariados empleados para el análisis de la variación morfológica. Finalmente, se presenta un ejemplo de aplicación de las técnicas de morfometría geométrica en la antropología forense describiendo con detalle el protocolo de obtención y análisis de datos morfométricos y puntualizando en la capacidad descriptiva y las ventajas a nivel de la interpretación y discusión de los resultados obtenidos en relación con la morfometría tradicional.

## DATOS MORFOMÉTRICOS

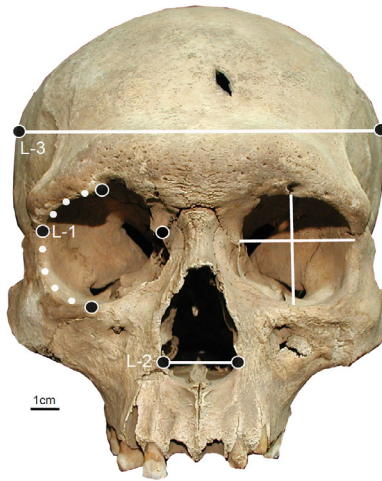
Hasta la década de 1960, la forma de una estructura anatómica era caracterizada por medio de una o un número pequeño de distancias lineales, ángulos y/o proyecciones; y su posterior análisis mediante estadística univariada (ver discusión en Howells, 1969 y Oxnard, 1978). A partir de entonces, con el desarrollo de la informática y los *softwares* para el procesamiento de datos, la caracterización métrica de las estructuras anatómicas fue abordada mediante el registro de numerosas medidas lineales y analizada por medio de estadística multivariada (Blackith y Reyment, 1971; Howells, 1969; Oxnard, 1978; Reyment, 1985). Esta aproximación constituyó un gran avance en el análisis morfométrico (Blackith y Reyment, 1971; Marcus, 1990), aunque fue criticada por sus sesgos y limitaciones (Rohlf y Marcus, 1993; Adams et al., 2004; 2013; Slice, 2005). Entre los problemas que han sido señalados (ver Adams et al., 2004 y Rohlf y Marcus, 1993) se destacan: 1) la homología de las distancias lineales es difícil de evaluar, ya que mu-

chas de ellas (e.g., ancho máximo) no son definidas a partir de puntos homólogos; 2) el mismo conjunto de medidas puede ser obtenido de dos estructuras con formas diferentes, pues la localización de los puntos empleados para tomar las distancias no está incluida en los datos; y 3) no es posible generar representaciones gráficas de la forma a partir de las distancias lineales, puesto que las relaciones geométricas entre las variables no se preserva. En consecuencia, se produce una pérdida de información considerable sobre algunos aspectos de la forma.

Como fue mencionado, una alternativa a las limitaciones de las distancias lineales, ángulos y proyecciones, es el registro de coordenadas cartesianas en dos o tres dimensiones (Adams et al., 2004, 2013; Slice, 2005), lo que permite mapear *landmarks* para obtener una representación balanceada de su forma. Los *landmarks* son puntos anatómica o geoméricamente homólogos entre estructuras y constituyen los datos básicos para los estudios morfométricos modernos. Bookstein (1991) clasificó los *landmarks* en tres tipos: 1) yuxtaposición de tejido: incluye puntos donde tres estructuras coinciden (e.g. suturas óseas); 2) puntos de máxima curvatura u otros procesos locales: incluyen extremidades de procesos y valles de invaginaciones; y 3) puntos extremos: están relacionados con distancias máximas medidas en una estructura. Debido a la naturaleza de los *landmarks* de tipo 3, Bookstein (1997) ha revisado su clasificación de 1991 y los ha denominado *semilandmarks*. La categoría *semilandmarks* incluye los *landmarks* tipo 3 de Bookstein (1991) así como las coordenadas utilizadas para describir contornos y superficies (figura 1).

## TAMAÑO Y FORMA EN MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA

En el marco de la morfometría, la forma (*form*) biológica puede ser conceptualizada como una combinación de tamaño (*size*) y forma, de acuerdo con la definición en lengua española que en inglés utiliza la expresión *shape* (figura 2). A lo largo del capítulo *shape* será traducido como forma, usando el término *form* cuando sea necesario hacer la distinción existente en inglés. Las aproximaciones que han aparecido con posterioridad a 1970 (ver revisión en Bookstein, 1998) analizan estos dos componentes de la variación morfométrica de manera separada.



**Figura 1.** Landmarks (círculos negros), semilandmarks (círculos blancos) y medidas lineales en el cráneo. Se señalan landmarks tipo 1, 2 y 3 (L-1, L-2, L-3) siguiendo la clasificación de Bookstein (1991).

Fuente: Elaboración propia a partir de Bookstein (1991)

En el análisis del tamaño y la forma para coordenadas cartesianas de landmarks (y semilandmarks; Bookstein, 1991) el tamaño se define mediante el tamaño centroide. Este es calculado como la raíz cuadrada de la suma de las distancias cuadradas de todos los puntos desde su centro de gravedad (Bookstein, 1989, 1991),

$$S_i = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}$$

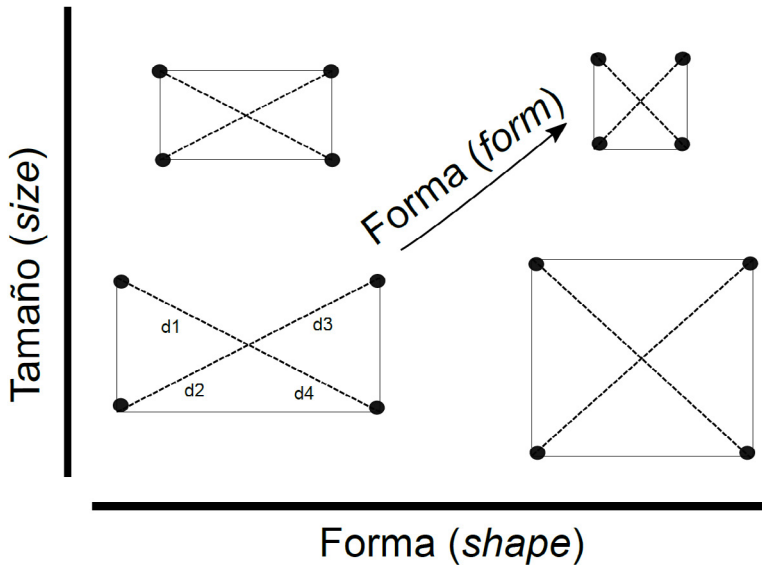
donde

$$d_n = \sqrt{(X_1 - X_c)^2 + (Y_1 - Y_c)^2}$$

donde  $d$  es la distancia Euclideana entre cada punto y el centro de gravedad o consenso de la configuración de puntos  $x$  e  $y$  (Rohlf, 1990; Rohlf y Slice, 1990; Bookstein, 1991). La utilización del tamaño centroide como variable de tamaño en los análisis geométricos se debe a que es la única variable de tamaño que no se correlaciona con la forma cuando el modelo nulo de alometría es verdadero (Bookstein, 1991). Es importante tener en cuenta que, a diferencia de otras medidas de tamaño, el valor del tamaño centroide depende del número de puntos utili-

zados para describir la estructura. Por lo tanto, solo puede compararse el tamaño entre configuraciones compuestas por el mismo número de landmarks y semilandmarks. En caso contrario, es necesario estandarizar el tamaño centroide previamente, por ejemplo, dividiéndolo por el número de puntos.

Después de definir el tamaño, la forma es representada por un conjunto de variables normalizadas o escaladas con relación a la variable de tamaño elegida,  $X$  (Sokal y Sneath, 1963; Albrecht et al., 1979; Mosimann y James, 1979; Marcus, 1990; ver discusión en Corruccini, 1987 y Bookstein, 1989). Si bien han sido propuestas múltiples maneras de obtener variables normalizadas por tamaño (Corruccini, 1987; Jungers et al., 1995), uno de los enfoques que ha tenido mayor desarrollo, y que ha sido adoptado en morfometría geométrica, es el propuesto por Mosimann y colaboradores (e.g., Darroch y Mosimann, 1985). Su propuesta consiste en dividir directamente las variables originales por la variable de tamaño previamente definida (Bookstein, 1989, 1991; Mosimann y James, 1979; Darroch y Mosimann, 1985). De esta manera todos los casos son estandarizados a un mismo tamaño (Bookstein, 1989; Corruccini, 1995).



**Figura 2.** Representación de los cambios en forma (shape), tamaño (size) y la combinación de ambos (form). En las figuras se representan las distancias Euclidianas de cada landmark al centroide

Fuente: Elaboración propia a partir de Richtsmeir et al., (2002)

Las coordenadas cartesianas empleadas en morfometría geométrica no sólo preservan la variación en tamaño y la forma de los objetos, sino que además incluyen la posición y orientación original de los mismos. En este contexto, la forma es definida como la variación que queda en las coordenadas cartesianas después que la localización, la escala y la orientación son excluidas (Bookstein, 1991), en general mediante el método de superposición de *Procrustes* Generalizado (Gower, 1975; Rohlf, 1990; Rohlf y Slice, 1990).

### SUPERPOSICIÓN PROCRUSTES

La superposición de Procrustes es un procedimiento que consiste en trasladar, escalar y rotar las coordenadas de un conjunto de configuraciones de puntos, minimizando la suma de los cuadrados de los errores (distancia *Procrustes*). Si se consideran dos objetos,  $X$  e  $Y$  (considere que estas letras representan las matrices de coordenadas cartesianas de dos objetos), representados por matrices de coordenadas de landmarks en 2

dimensiones, la superposición de Procrustes consiste en los siguientes pasos:

1. Centrar  $X$  e  $Y$  en el origen mediante la sustracción de sus centroides; esto puede ser efectuado pre-multiplicando  $X$  por  $(I - P)$ , donde  $I$  es una matriz identidad  $p \times p$  y  $P$  es una matriz  $p \times p$  con todos los elementos iguales a  $1/p$

$$X'_i = (I - P)X_i$$

2. Escalar  $X$  e  $Y$  a tamaño uno, mediante la división de todas las coordenadas por el tamaño centroide ( $s_i$ )

$$X''_i = (I - P)X_i / s_i ; y$$

3. Calcular la matriz de coordenadas rotadas  $X^* = XH$ , donde la matriz ortonormal (matriz de rotación)  $H$  es calculada como  $H = VU'$ , donde  $V$  y  $U$  son las matrices de vectores singulares derecha e izquierda de la SVD (descomposición del valor singular; Rohlf y Slice, 1990)  $Y'X = UDV'$ . Para  $p = 2$  dimensiones la matriz  $H$  tiene la forma

$$\begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

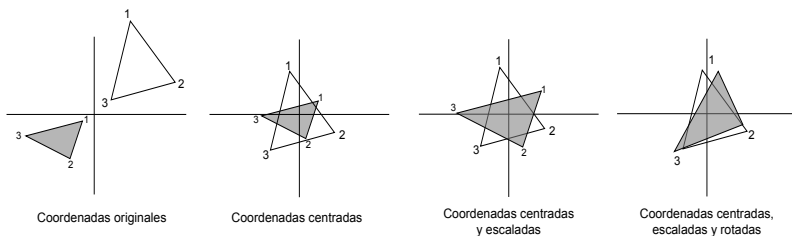
De este modo, la nueva localización de las coordenadas de los puntos minimiza las desviaciones cuadradas con respecto a la localización de las coordenadas correspondientes en la otra estructura (figura 3). Cuando se analizan más de dos especímenes, el método de superposición incluye pasos adicionales, donde cada uno de los casos estudiados es alineado contra una configuración media de manera iterativa (Rohlf y Slice, 1990).

Si bien el método de Procrustes fue desarrollado originalmente para el análisis de datos de *landmarks*, ha sido utilizado también para el análisis morfométrico de contornos y superficies (Bookstein et al., 2002; Sheets et al., 2004). Cuando los contornos y superficies se digitalizan como puntos discretos, se le suma un paso al método de Procrustes generalizado con el objeto de minimizar la variación tangente a la curva, y de este modo obtener un conjunto de puntos denominados *semilandmarks*. En este caso, los puntos individuales no son considerados homólogos de estructura a estructura, y solo la variación perpendicular al contorno o la superficie tiene información acerca de las diferencias entre especímenes y grupos (Bookstein, 1997; Bookstein et al., 2002). La variación tangente al contorno puede ser minimizada mediante distintos criterios, siendo el de *bending energy* y la distancia Procrustes, los usados más comúnmente (Andersen et al., 2000; Bookstein et al., 2002; Sheets et al., 2004; Perez et al., 2006).

## VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

Uno de los aportes fundamentales de la morfometría geométrica es la posibilidad de representar gráficamente las diferencias en forma entre especímenes y muestras (Klingenberg, 2013). Existen diferentes opciones, siendo la más simple la representación de las configuraciones de puntos de todos los especímenes superpuestos a la referencia. Cuando se superponen sólo dos configuraciones es posible unir los puntos para facilitar la visualización, obteniendo un gráfico conocido como *wireframe*. Alternativamente, los desplazamientos de cada *landmark* y *semi-landmark* pueden mostrarse como vectores que indican la dirección y magnitud del cambio entre configuraciones. Al interpretar estos gráficos es necesario tener en cuenta que la variación en la posición de cada punto después de la superposición es relativa a la posición del resto de los puntos en la configuración, es decir que la interpretación de los cambios se realiza considerando la configuración total de puntos.

Otros métodos de visualización se basan en exhibir los cambios en forma como una deformación o transformación del espacio de la configuración de referencia de *landmarks* y *semi-landmarks*. Estas deformaciones son útiles para visualizar el cambio general en forma y están inspiradas en los trabajos originales de D'Arcy Thompson (Bookstein, 1991). Para las configuraciones en 2D generalmente se emplean grillas de deformación que son obtenidas mediante un método de interpolación como el *thin-plate spline*. En las grillas, la deformación en las áreas más alejadas de los puntos debe interpretarse con cuidado ya que la interpolación no reflejaría adecuadamente los cambios locales en áreas sin información. El método de interpolación es



**Figura 3.** Representación de los tres pasos del análisis Procrustes por mínimos cuadrados (traslación, escalamiento, rotación)

Fuente: Elaboración propia a partir de Mitteroecker y Gunz (2009).

aplicable no solo a una grilla sino también a todos los puntos o vértices en una superficie, esto ha sido la base para desarrollar una alternativa para la visualización de los cambios en forma en 3D que son difíciles de representar por medio de grillas. En este caso se realiza la interpolación empleando reconstrucciones en 3D de las estructuras morfológicas (Wiley et al., 2005). Las mismas pueden obtenerse a partir de imágenes de tomografía computada, escáner láser, fotografías digitales, etc.

Los métodos descritos son generalmente utilizados para graficar los resultados de análisis multivariados de las variables de forma (i.e., coordenadas superpuestas; ver más abajo), con el fin de mostrar los ejes de mayor variación entre individuos, de mayor diferenciación entre muestras, así como el efecto de factores como el tamaño sobre la forma. En el siguiente apartado se resumen dos de los métodos estadísticos multivariados más utilizados en el contexto de investigaciones forenses.

## ANÁLISIS MULTIVARIADO

En el marco de la antropología forense las técnicas de la morfometría geométrica han sido usadas principalmente para la estimación del sexo y la ancestría de los individuos a partir de rasgos anatómicos principalmente del cráneo y la pelvis (González et al., 2009, 2011). Diferentes técnicas multivariadas pueden ser empleadas con tal fin, siendo el análisis de componentes principales (CP) y el análisis discriminante los más utilizados (ver figura 4). El primero, permite describir ejes de mayor variación en la forma y reducir la alta dimensionalidad de los datos de *landmarks* y *semilandmarks* mediante la extracción de los primeros componentes. En tanto que el análisis discriminante, tanto efectuado directamente sobre las coordenadas Procrustes como sobre los componentes principales obtenidos a partir de las mismas, es ampliamente utilizado en antropología forense en el proceso de clasificación de los restos de acuerdo con determinado criterio (e.g., sexo) basándose en una muestra de referencia. A continuación, se describen brevemente estas dos técnicas, para un análisis más detallado consultar Manly (1994).

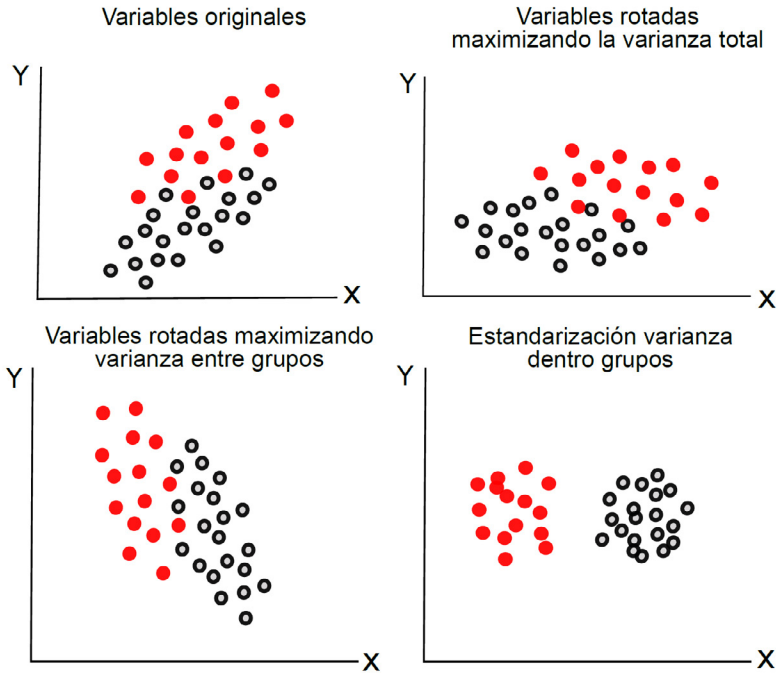
El análisis de componentes principales es una de las técnicas multivariadas exploratorias más simples y su objetivo es transformar las variables de forma  $X_1, X_2, \dots, X_p$  en nuevas variables  $CP_1, CP_2, \dots, CP_p$  que no estén corre-

lacionadas. La falta de correlación permite medir “dimensiones” diferentes en los datos de forma con cada CP. Otra propiedad importante es que el primer CP es el que describe la mayor cantidad de variación en forma (Manly, 1994); y en este sentido el primer componente principal es la combinación lineal de las variables de forma que varían tanto como es posible para los individuos. Para obtener los componentes principales hay que encontrar los autovalores y autovectores de la matriz de covarianza de la muestra. La varianza de los componentes principales son los autovalores de la matriz de covarianza, mientras que los autovectores corresponden a los ángulos necesarios para rotar las variables originales y calcular los CPs ortogonales. En este sentido, la matriz de autovectores es la que contiene la información de la relación entre las variables originales y los componentes principales. Los valores de los scores o componentes principales se obtienen multiplicando la matriz de autovectores por la matriz de datos de forma.

Mientras los componentes principales describen los ejes de mayor variación en el espacio multidimensional, las variables canónicas (VCs) o scores discriminantes son calculados de manera similar, pero describen los ejes de mayor diferenciación entre grupos preestablecidos (e.g., sexos). Para separar dos o más grupos se calculan las *funciones discriminantes canónicas* o simplemente *variables canónicas*, las cuales representan combinaciones lineales de las variables de forma que separan los grupos tan bien como es posible. A diferencia de los CPs, los autovectores que se usan en este análisis maximizan la razón  $F$  de un análisis de varianza (i.e., media de cuadrados entre los grupos / media de cuadrados dentro de los grupos). Asimismo, esta técnica no es únicamente descriptiva o exploratoria, puede ser empleada para informar las probabilidades de asignación correcta o los grados de error que se asocian a las estimaciones de sexo, edad o ancestría, por ejemplo; lo que tiene gran importancia en estudios forenses.

## MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA APLICADA A LA ESTIMACIÓN DEL SEXO

La estimación del sexo constituye uno de los parámetros básicos para la construcción del perfil biológico y la identificación de personas en el contexto de investigaciones forenses. Esta



**Figura 4.** Rotación de las variables maximizando la variación total de la muestra (análisis de componentes principales) y maximizando la variación entre grupos (análisis discriminante).

Fuente: Elaboración propia

ha sido tradicionalmente realizada a partir de rasgos del cráneo y la pelvis, aunque numerosos elementos del esqueleto post-craneal también exhiben niveles elevados de dimorfismo sexual (Buikstra y Ubelaker, 1994; Béguelin y Gonzalez, 2008; Béguelin et al., 2011). Entre estas estructuras, la pelvis es reconocida como la más dimórfica debido a las funciones diferenciadas entre ambos sexos. Si bien las técnicas cualitativas son frecuentemente utilizadas en casos forenses, el desarrollo de técnicas morfométricas, basadas en medidas lineales y más recientemente en la morfometría geométrica (Gonzalez et al., 2005, 2009, 2011), ha ganado interés debido a su alto grado de replicabilidad y exactitud.

En esta sección presentamos un ejemplo de la aplicación de técnicas de morfometría geométrica para la estimación del sexo en dos muestras en las que el sexo ha sido estimado de

manera independiente a la morfología ósea, una procedente de una población de ascendencia amerindia y otra de ascendencia europea.

### Muestras y obtención de datos morfométricos

Los individuos de ascendencia amerindia corresponden a la colección depositada en el Museo Arqueológico San Miguel de Azapa de la Universidad de Tarapacá (Chile). Estos materiales proceden de diversos sitios arqueológicos ubicados a lo largo del Valle de Azapa y en los alrededores de la ciudad de Arica, en el norte de Chile, y corresponden a poblaciones de pescadores-recolectores sedentarios que habitaron principalmente en la región de la costa (Focacci y Chacón, 1989) y agricultores asentados tanto sobre la



costa como en el interior, a lo largo del Valle de Azapa. Para este análisis sólo se incluyeron los casos para los que se contaba con identificación del sexo de los individuos obtenida a partir de la inspección visual de los restos de tejidos blandos, externos e internos, que presentaban los restos momificados (Sutter, 2003). Se analizaron 26 individuos, 10 femeninos y 16 masculinos, mayores de 15 años.

La muestra de ancestría europea corresponde a la colección de esqueletos identificados depositada en el Museo Antropológico del Departamento de Antropología de la Universidad de Coimbra (Portugal). La misma fue reunida por Tamagnini a principios del siglo XX. Consta de 505 esqueletos asignados cronológicamente a fines del siglo XIX y comienzos del XX, de los cuales 498 provienen de excavaciones realizadas en el cementerio “da Conchada” de Coimbra (Rocha, 1995). La totalidad de los individuos cuentan con información acerca del sexo, la edad, la ancestría y las causas de muerte. En este análisis se incluyeron 121 individuos, 52 femeninos y 69 masculinos entre 15 y 50 años.

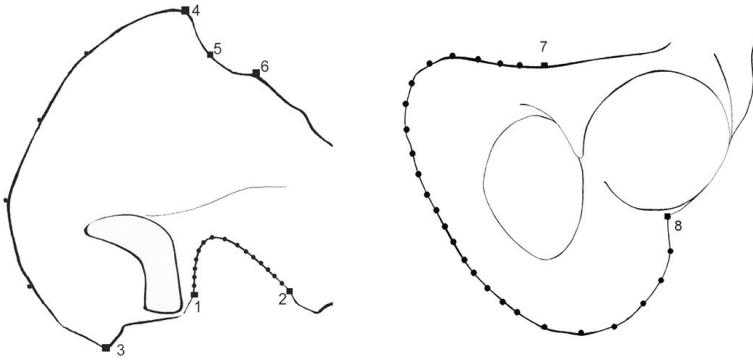
Para los análisis morfométricos se obtuvieron imágenes fotográficas del ilion y la región isquiopúbica. En el primer caso, el coxal fue colocado sobre una superficie plana con la cara ventral del ilion hacia arriba, paralelo a la cámara y a una distancia de 250 mm entre la superficie del hueso y el lente de la cámara. Para fotografiar el complejo isquiopúbico se colocó la cámara con el lente paralelo a la superficie ventral del pubis, a una distancia de 250 mm del hueso. Se colocó una escala al nivel de la superficie del hueso (el ilion y el pubis, respectivamente) con el fin de estandarizar, posteriormente, el tamaño de las imágenes. Todas las imágenes fueron obtenidas utilizando una cámara fotográfica digital Olympus Camedia C3030, con una resolución de 3,3 megapíxeles.

Sobre las imágenes se registraron digitalmente coordenadas de *landmarks* y *semilandmarks* mediante el empleo del programa tpsDig 1.40 (Rohlf, 2004). En la escotadura ciática mayor se digitalizaron dos *landmarks*, ambos de tipo 2 según la clasificación de Bookstein (1991). El *Landmark 1* fue ubicado en el extremo del tubérculo piramidal, mientras el *Landmark 2* fue localizado en la base de la espina del isquion. Cuando el tubérculo no es observable este punto se ubica en el extremo posterior de la escotadura, inmediatamente por delante de la región donde la línea de esta se flexiona hacia la superficie au-

ricular del ilion (figura 5). La definición de estos *landmarks* permite el análisis de la escotadura desde etapas tempranas del desarrollo y su comparación con los individuos adultos. Con el fin de obtener una descripción más completa de la forma de la escotadura, se ubicaron, además, 14 *semilandmarks* entre los dos puntos descritos (figura 5). La localización de puntos anatómicos en el complejo isquiopúbico presenta alto grado de dificultad, especialmente de *landmarks* de tipo 1 y 2. En este caso se optó por utilizar dos *landmarks* que pudieran ser confiablemente digitalizados en todos los coxales. Uno de los *landmarks* fue ubicado en la intersección del borde superior del pubis con una línea trazada perpendicularmente, que une los puntos ubicados en los extremos superior e inferior del agujero obturador (*Landmark 7*), en tanto el otro punto se localizó en la intersección entre el margen del isquion y el extremo inferior del acetábulo, en el surco tubero-acetabular (*Landmark 8*). Entre estos dos puntos se digitalizaron 25 *semilandmarks* (figura 5).

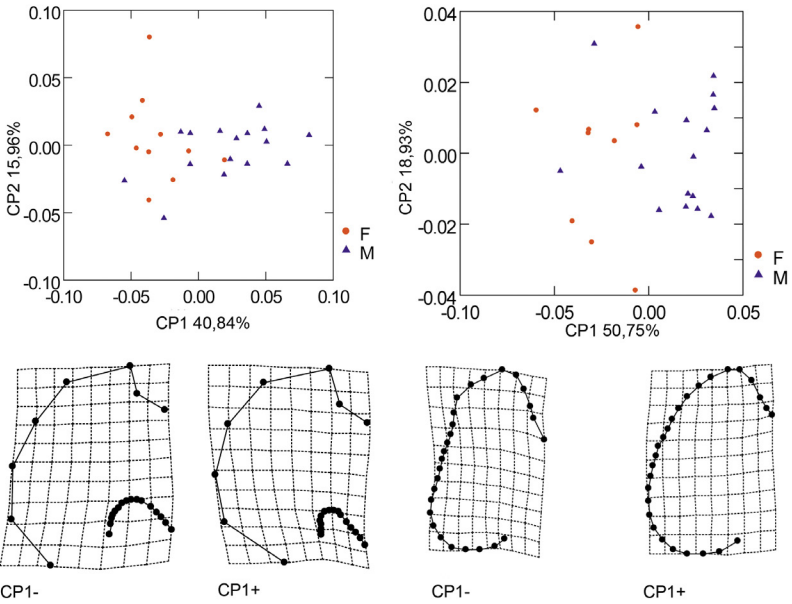
### Análisis morfométrico

A partir de los puntos digitalizados se efectuó una superposición de Procrustes, deslizando los *semilandmarks* mediante el criterio de distancia Procrustes. Con el fin de describir la variación en forma en ambas muestras, las coordenadas alineadas o Procrustes de las dos estructuras de la pelvis fueron analizadas mediante componentes principales. En ambas muestras, a lo largo del primer eje se diferencian los individuos de ambos sexos, existiendo muy poco solapamiento entre las formas femeninas y masculinas (figuras 6 y 7). En la región iliaca se observa que los individuos masculinos presentan la escotadura más profunda, estrecha y asimétrica que los femeninos (figura 6a). La asimetría observada en los masculinos se debe a que el punto más profundo de la escotadura se ubica hacia el extremo posterior, mientras en los femeninos este punto se localiza en el centro de la escotadura, resultando en una forma más simétrica. Asimismo, se encontraron diferencias en la forma del ala del ilion. Las principales diferencias en forma entre los extremos del primer eje observan en el ancho y alto relativo del ala del ilion, caracterizándose los individuos femeninos por formas más alargadas antero-posteriormente y cortas en sentido vertical mientras que los masculinos presentan una forma más estrecha y alta (figuras 6a y 7a).



**Figura 5.** Localización de los landmarks (cuadrados) y semilandmarks (círculos) digitalizados sobre la escotadura ciática mayor (landmarks 1 y 2), el contorno del ilion (landmarks 3, 4, 5, 6), y el complejo isquiopúbico (7,8).

Fuente: Elaboración propia



**Figura 6.** Componentes principales de las coordenadas superpuestas (shape) del ilion (a) y de la región isquiopúbica (b) de la muestra de Azapa.

En la sección inferior se grafican las grillas de deformación mostrando los cambios en forma en los extremos del primer componente principal

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la región isquiopúbica indica que las principales diferencias entre ambos sexos se localizan en la región del pubis, caracterizándose los individuos femeninos por una mayor proyección (figuras 6b y 8b). Las grillas de deformación también indican que los masculinos presentan un mayor ancho relativo del isquion en relación con los femeninos (figuras 6b y 7b).

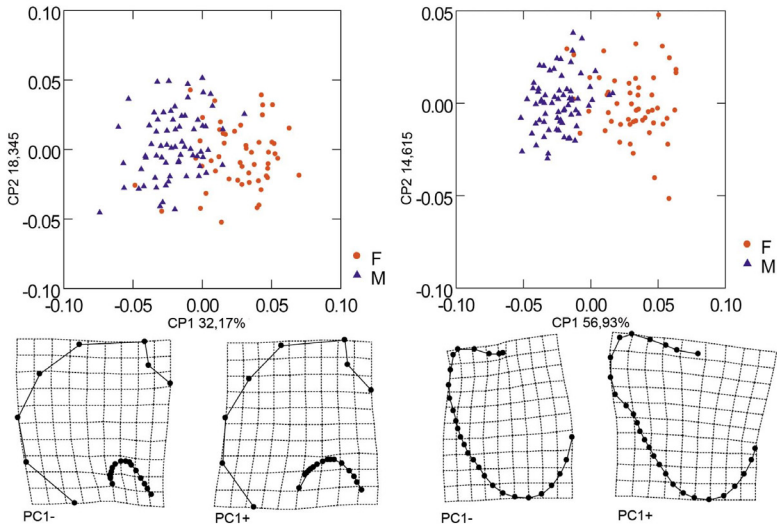
El análisis de componentes principales efectuado sobre las variables de forma más el tamaño centroide (i.e., *form*) indica que los individuos se distribuyen de acuerdo con el sexo a lo largo del primer componente, aunque se observa mayor solapamiento que al analizar únicamente las variables superpuestas (*shape*), especialmente en la región isquiopúbica. El mismo patrón se encontró en ambas muestras (figura 8).

Los valores de escores de cada individuo a lo largo de los dos primeros ejes obtenidos en el análisis de reducción de la dimensionalidad a partir de las coordenadas superpuestas (*shape*) fueron empleados como variables para realizar análisis discriminantes. Los resultados del análisis discriminante realizado a partir de las dos

estructuras pélvicas indican que en ambas muestras entre el 88,5% y el 97% de los individuos fue correctamente asignado (tabla 1).

Los resultados del análisis discriminante realizado con las estructuras pélvicas de la muestra de Azapa indican que el porcentaje de individuos femeninos asignados correctamente (88.9%) fue similar al porcentaje de masculinos (87.5%). Por el contrario, a partir del complejo isquiopúbico el número de asignaciones correctas fue menor en los femeninos (88.9%) que en los masculinos (93.75%). Por último, a partir del análisis discriminante realizado con los primeros componentes de la escotadura y del complejo isquiopúbico fueron correctamente clasificados el 100% de los femeninos y el 87.5% de los masculinos (tabla 1).

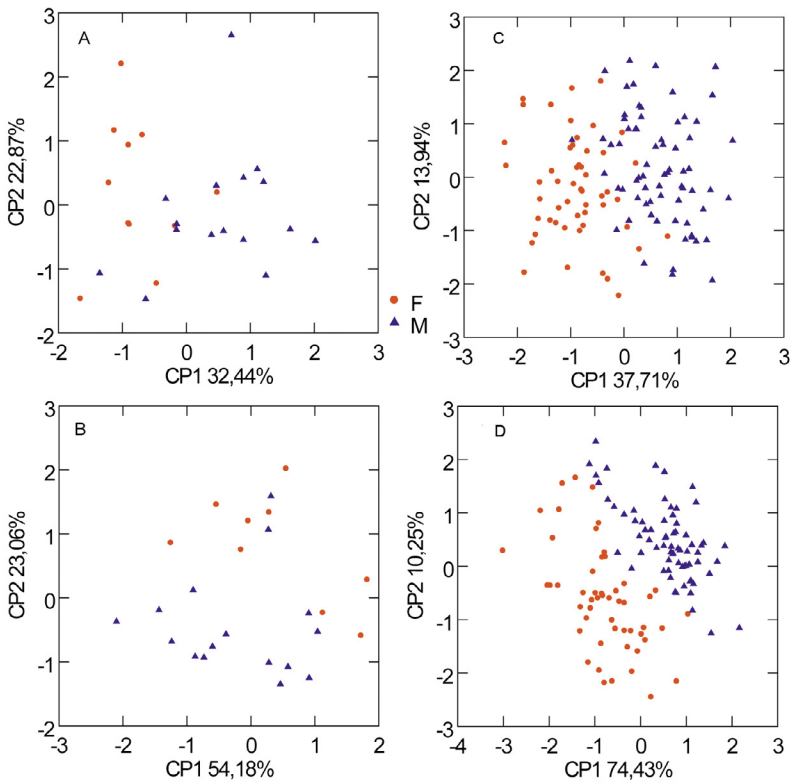
En el análisis de la escotadura de la muestra de Azapa se observa que más del 90% de los individuos femeninos y masculinos fue asignado correctamente, no observándose diferencias entre ambos sexos. Por el contrario, a partir del complejo isquiopúbico el 97.1% de los masculinos fue asignado correctamente mientras que el



**Figura 7.** Componentes principales de las coordenadas superpuestas (*shape*) del ilion (a) y de la región isquiopúbica (b) de la muestra de Coimbra

En la sección inferior se grafican las grillas de deformación mostrando los cambios en forma en los extremos del primer componente principal.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 8.** Componentes principales de las coordenadas superpuestas más el tamaño centroide (form) del ilion (paneles superiores) y de la región isquiopúbica (paneles inferiores) de la muestra de Azapa (a,b) y Coimbra (c,d)

Fuente: *Elaboración propia*

porcentaje en los femeninos fue menor (88.46%). Cuando se realizó el análisis a partir del primer componente principal de las dos estructuras en forma conjunta, la correspondencia entre el sexo reportado y el asignado fue de 94.2%, tanto para masculinos como para femeninos.

El porcentaje de estimaciones correctas obtenidas con la escotadura fueron levemente inferiores a las obtenidas con el complejo isquiopúbico, excepto para los individuos femeninos en los que el porcentaje fue menor pero la diferencia entre ambas estructuras fue muy pequeña. Por lo tanto, a diferencia de lo descrito por otros autores (Bruzek, 2002), el porcentaje de estimaciones correctas obtenidas consideran-

do únicamente la escotadura sería tan elevado como el alcanzado a partir del pubis. Esto es importante, particularmente cuando se analizan muestras arqueológicas ya que la región del pubis es más frágil y en general está fragmentada.

El menor porcentaje de las asignaciones correctas a partir del pubis en la muestra de Azapa podría estar relacionada con el perfil de edad de esta muestra, ya que hay una gran representación de individuos entre 15 y 25 años. Las estructuras pélvicas analizadas están sujetas a cambios morfológicos con posterioridad a la fusión de los elementos óseos. Los individuos femeninos jóvenes se caracterizan por morfologías similares a las masculinas, observándose

**Tabla 1.** Porcentaje de estimaciones correctas obtenidas a partir de las estructuras de la pelvis en ambas muestras. ECM: escotadura ciática mayor del ilion; CIP: complejo isquiopúbico

	Muestra de Azapa			Muestra de Coimbra		
	ECM			ECM		
	F	M	%	F	M	%
F	8	1	88.9	46	6	88.46
M	2	14	87.5	6	63	91.30
Total	10	15	88.0	52	69	90.08
	CIP			CIP		
	F	M	%	F	M	%
F	8	1	88.9	39	13	75.0
M	1	15	93.75	16	53	76.81
Total	9	16	92.0	55	66	76.03
	ECM + CIP			ECM + CIP		
	F	M	%	F	M	%
F	9	0	100	47	5	90.38
M	2	14	87.5	6	63	91.3
Total	11	14	92.0	53	68	90.09

Fuente: *Elaboración propia*

el incremento de la proyección del pubis con la edad. Los análisis discriminantes efectuados indican que tales cambios pueden conducir a sesgos en la clasificación de los individuos femeninos menores de 20 años, los cuales tienden a ser clasificados como masculinos. La influencia de la remodelación ósea con la edad sobre las determinaciones del sexo ha sido notada previamente (Lovell, 1989). Los resultados descritos aquí coinciden en señalar que los individuos femeninos serán mejor clasificados a partir de la morfología isquiopúbica desde los 25 años, mientras en los menores existe mayor probabilidad de asignarlos como masculinos.

### DISCUSIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE SEXO BASADAS EN MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA

En general, el elevado porcentaje de asignaciones correctas obtenido para la región isquiopúbica coincide con lo documentado previamente por

otros autores. Phenice (1969) propuso el empleo de diversos rasgos del pubis (arco ventral, concavidad subpúbica y aspecto medial de la rama isquiopúbica) que en conjunto permitirían alcanzar alrededor del 95% de exactitud. Sin embargo, posteriores evaluaciones de esta técnica en poblaciones de distinto origen indicaron que los porcentajes serían más bajos y estarían entre 59% y 84% (Lovell, 1989; MacLaughlin y Bruce, 1990). Asimismo, porcentajes relativamente bajos (70% al 92%) fueron documentados por Bruzek (2002) mediante la evaluación visual de la proporción isquiopúbica en dos muestras europeas (una procedente de Francia y la otra de Portugal). Los valores más bajos correspondieron a los masculinos de Portugal, aunque en ambas muestras los masculinos fueron mal clasificados en un número mayor de casos que los femeninos. El análisis métrico de la proporción isquiopúbica, expresada mediante el índice que relaciona la longitud del pubis y la longitud del isquion (Schultz, 1949), ha arrojado valores más elevados de exactitud. De acuerdo con Was-

hburn (1948), el empleo del índice permitiría determinar correctamente alrededor del 90% de los individuos. Posteriormente, el índice fue aplicado a otras poblaciones obteniendo distintos porcentajes de exactitud. En parte, estas diferencias pueden atribuirse al error de medición asociado a las variables empleadas, debido a que uno de los mayores problemas con este índice es la dificultad de localizar uno de los *landmarks* empleados en la definición de la longitud del pubis (i.e., punto acetabular; Albanese, 2003). Esto ha conducido a formular distintas definiciones de esta variable, dificultando la comparación de los resultados alcanzados por diferentes autores.

Aunque la región púbica presenta el mayor grado de dimorfismo sexual en relación con otras estructuras de la pelvis, con frecuencia está ausente en los restos forenses debido a su elevada fragilidad. Como alternativa se ha propuesto la obtención de medidas en regiones de la pelvis que presentan mayor probabilidad de preservación. Taylor y Dibennardo (1984) utilizaron funciones discriminantes que incluían medidas del área central del hueso coxal, que constituye una de las porciones mejor preservada, y obtuvieron un 90% de exactitud. Rissech y Malgosa (1997) también utilizaron variables de la región central del coxal (i.e., alto de la escotadura, ancho cotilociático, longitud del isquion y diámetro del acetábulo) para desarrollar una función discriminante que permitió clasificar correctamente alrededor del 90% de los individuos. En este sentido, la escotadura ciática ha sido una de las estructuras más utilizadas. Sin embargo, se ha planteado que las estimaciones basadas en esta estructura serían menos confiables que las obtenidas con las variables de la región isquiopúbica. A partir del análisis visual de las proporciones de la escotadura -es decir, la relación entre la longitud de la rama anterior y posterior-, Bruzek (2002) determinó que la morfología femenina era observable en el 67% al 70% de los individuos femeninos. Mientras que el porcentaje de individuos masculinos que presentó la morfología característica del sexo fue más elevado, entre 67% y 80%. Asimismo, DiBennardo y Taylor (1983) obtuvieron sólo el 79-81% de exactitud a partir del análisis de la forma de la escotadura.

Los trabajos que emplearon aproximaciones métricas, basadas en variables lineales, han obtenido resultados similares. A partir de medidas del ancho y la profundidad de la escotadura ciática se ha determinado que pueden clasificarse correctamente el 77% de los individuos mascu-

linos y el 73% de los femeninos (Patriquin et al., 2003). Por el contrario, mediante el empleo de *landmarks* localizados sobre esta estructura se ha determinado que el 87,1% de los individuos femeninos y el 93,1 % de los masculinos podrían ser asignados correctamente (Pretorius et al., 2006). Estos valores son casi tan elevados como los documentados para la región del pubis. Los resultados obtenidos por estos autores coinciden con los obtenidos mediante morfometría geométrica aquí y en trabajos previos (González et al., 2009). La forma de la escotadura pudo ser descrita en detalle utilizando una combinación de *landmarks* y *semilandmarks*, y analizada mediante análisis estadísticos multivariados que permitieron estimar el sexo a partir de esta estructura con un porcentaje elevado de confianza. Esto indicaría que uno de los principales problemas para utilizar esta estructura en la determinación del sexo sería la técnica empleada para captar las diferencias en forma entre ambos sexos. Un estudio previo (Gomez Valdez et al., 2012) mostró que los métodos visuales y basados en medidas lineales resultan en un elevado grado de error en la estimación, mientras que la aplicación de técnicas de la morfometría geométrica permite estimar correctamente alrededor del 82% de los casos, apoyando los resultados de este estudio.

## CONCLUSIONES

Durante los últimos 25 años la morfometría geométrica ha alcanzado niveles de crecimiento y expansión significativos, aunque recientemente se ha comenzado a desarrollar su aplicación en la ciencia forense. En esta área de trabajo la caracterización del tamaño y forma de distintas estructuras y rasgos morfológicos dentales y esqueléticos contribuye a la reconstrucción del perfil biológico, a alcanzar la identificación de los individuos. La selección de las técnicas empleadas para describir la morfología -en términos de la sensibilidad que presenten para recuperar información- impacta de manera directa en los niveles de precisión y exactitud de las estimaciones. En este sentido, el empleo de las técnicas de morfometría geométrica permite realizar descripciones cuantitativas rigurosas y detalladas de la morfología. Estas presentan niveles bajos de error de observación en las coordenadas de puntos digitalizados, es decir se incrementa la precisión de las observaciones, a la vez que aumentan los porcentajes de asignaciones correctas, o exac-

itud, en la estimación de variables tales como sexo y ancestría. Asimismo, han posibilitado ser utilizadas por operadores con poca experiencia y entrenamiento en el relevamiento de datos (Gonzalez et al., 2005, 2007, 2009).

El futuro de estas técnicas en la antropología forense resulta altamente promisorio (Dirkmaat y Cabo, 2012; Zelditch et al., 2012). Por una parte, su empleo involucra la generación de información nueva, relevante y precisa que permitirá identificar nuevos rasgos de valor para la estimación de las diferentes variables empleadas para la construcción del perfil biológico de un individuo. Asimismo, el desarrollo e implementación de nuevos protocolos automá-

ticos y semi-automáticos para el registro de las estructuras morfológicas permitirá disminuir considerablemente el tiempo invertido en el relevamiento de datos. Por otra parte, la posibilidad de emplear variables de tamaño y forma en análisis estadísticos desarrollados recientemente para el agrupamiento de individuos como las redes neuronales y análisis de co-clustering, que incluyen nuevos modos de clasificación y cálculos más sofisticados del grado de error asociado a los mismos, permitirá obtener estimaciones más precisas, exactas y que cumplan los requisitos para validar los métodos forenses en contexto médicos-legales de acuerdo a estándares internacionales.

## REFERENCIAS CITADAS

- Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. 2004. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution'. *Ital J Zool* 71:5–16.
- Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. 2013. A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix* 24:7–14.
- Albanese J. 2003. A metric method for sex determination using the hipbone and the femur. *J Forensic Sci* 48:1–11.
- Albrecht GH, Gould SJ, Oster GF, Wake DB. 1979. Size and shape in ontogeny and phylogeny. *Paleobiology* 5:296–317.
- Andresen PR, Bookstein FL, Conradsen K, Ersbøll B, Marsh J, Kreiborg S. 2000. Surface-bounded growth modeling applied to human mandibles. *IEEE Trans Med Imag* 19:1053–1063.
- Bass WM. 2005. Human osteology: A laboratory and field manual. 5th Edition. Special Publication No. 2 of the Missouri Archaeological Society.
- Béguelin M, Gonzalez PN. 2008. Estimación del sexo en poblaciones sudamericanas mediante funciones discriminantes para el fémur. *Rev Argent Antropol Biol* 10:55–70
- Béguelin M, Lotto F, Gonzalez PN. 2011. Estimación del sexo en cazadores-recolectores de Sudamérica a partir de variables métricas del húmero. *Intersecc Antropol* 12:61–68.
- Bernal V, D'Adonna LA, Gonzalez P. 2018 Variación dental del linaje humano: una perspectiva desde la evolución y el desarrollo. En: Sanabria-Medina C. (Editor), *Odontología Forense: análisis, interpretación y documentación del sistema estomatognático en el proceso de identificación humana y reconstrucción de las circunstancias de muerte en el contexto forense*. Bogotá DC, Colombia.
- Blackith RE, Reyment RA. 1971. *Multivariate morphometrics*. New York: Academic Press.
- Bookstein FL. 1989. "Size and shape": a comment on semantic. *Syst Zool* 38:173–180.
- Bookstein FL. 1991. *Morphometric tools for landmark data: Geometry and biology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bookstein FL. 1997. Landmark methods for forms without landmarks: Localizing group differences in outline shape. *Med Image Anal* 1:225–243.
- Bookstein FL. 1998. A hundred years of morphometrics. *Acta Zool Hung* 44:7–59.
- Bookstein FL, Streissguth AP, Sampson PD, Connor PD, Barr HM. 2002. Corpus callosum shape and neuropsychological deficits in adult males with heavy fetal alcohol exposure. *NeuroImage* 15:233–251.
- Bruzek J. 2002. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *Am J Phys Anthropol* 117:157–

168.

- Buikstra J, Ubelaker D. 1994. Standards for data collection from human skeletal remains. Fayetteville, AR: Arkansas Archeological Survey.
- Corruccini RS. 1987. Shapes in morphometrics: comparative analyses. *Am J Phys Anthropol* 73:289–303.
- Corruccini RS. 1995. Of ratios and rationality. *Am J Phys Anthropol* 96:189–191.
- Darroch JN, Mosimann JE. 1985. Canonical and principal component of shape. *Biométrie* 72:241–252.
- DiBennardo R, Taylor J. 1983. Multiple discriminant function analysis of sex and race in the postcranial skeleton. *Am J Phys Anthropol* 61:305–314.
- Dirkmaat DC, Cabo LL. 2012. Forensic anthropology: Embracing the new paradigm. En: Dirkmaat DC (editor), *A companion to forensic anthropology*. West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Focacci G, Chacón S. 1989. Excavaciones arqueológicas en los faldeos del Morro de Arica: Sitios Morro 1/6 y 2/2. *Chungara* 22:15–62.
- Franklin D, Oxnard CE, O'Higgins P, Dadour I. 2007. Sexual dimorphism in the subadult mandible: quantification using geometric morphometrics. *J Forensic Sci* 52: 6–10.
- Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A. 2012. The application of traditional and geometric morphometric analyses for forensic quantification of sexual dimorphism: preliminary investigations in a Western Australian population. *Int J Legal Med* 126:549–58.
- Gómez-Valdés JA, Quinto-Sánchez M, Menéndez Garmendia A, Velemínska J, Sánchez-Mejorada G, Bruzek J. 2012. Comparison of methods to determine sex by evaluating the greater sciatic notch: Visual, angular and geometric morphometrics. *Forensic Sci Int* 221:156.e1–7.
- Gonzalez PN, Bernal V, Barrientos G. 2005. Dimorfismo sexual en el esqueleto pélvico y mandibular de individuos subadultos: comparación de métodos visuales y de morfometría geométrica. *Werken* 6:49–61.
- Gonzalez PN, Bernal V, Perez SI, Barrientos G. 2007. Analysis of dimorphic structures of the human pelvis: Its implications for sex estimation in samples without reference collections. *J Archaeol Sci* 34:1720–1730.
- Gonzalez PN, Bernal V, Perez SI. 2009. Geometric morphometric approach to sex estimation of human pelvis. *Forensic Sci Int* 189:68–74.
- Gonzalez PN, Bernal V, Perez SI. 2011. Analysis of sexual dimorphism of craniofacial traits using geometric morphometric techniques. *Int J Osteoarchaeol* 21:82–91.
- Gonzalez PN, Barbeito-Andrés J, D'Addona LA, Bernal V, Perez SI. 2016. Performance of semi and fully automated approaches for registration of 3D surface coordinates in geometric morphometric studies. *Am J Phys Anthropol* 160: 169–178.
- Gower JC. 1975. Generalized Procrustes analysis. *Psychometrika* 40:33–51.
- Gunz P, Mitteroecker P. 2013. Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix* 24:103–109.
- Howells W. 1969. The use of multivariate techniques in the study of skeletal populations. *Am J Phys Anthropol* 31:311–314.
- Jungers WL, Falsetti AB, Wall CE. 1995. Shape, relative size, and size-adjustments in morphometrics. *Yearb Phys Anthropol* 38:137–161.
- Kieser JA, V Bernal, J Neil Waddell, S Raju. 2007. The uniqueness of the human anterior dentition: a geometric morphometric analysis. *J Forensic Sci* 52:671–677.
- Klingenberg CP. 2013. Visualizations in geometric morphometrics: how to read and how to make graphs showing shape changes. *Hystrix* 24:15–24.
- Lovell NC. 1989. Test of Phenice's technique for determining sex from the Os pubis. *Am J Phys Anthropol* 79:117–120.



- MacLaughlin SM, Bruce ME. 1986. Population variation in sexual dimorphism in the human innominate. *Hum Biol* 1:221–231.
- Manly BFJ. 1994. *Multivariate statistical methods. A primer*. Second edition. London: Chapman & Hall.
- Marcus LF. 1990. Traditional morphometrics. En: Rohlf FJ, Bookstein F (editores), *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*, pp. 77–122. Special Publication Number 2. Ann Arbor. Michigan: The University of Michigan Museum of Zoology.
- Martínez Vera NP, Höller J, Witek T, Neumayer B, Ehammer T, Urschler M. 2017. Forensic age estimation by morphometric analysis of the manubrium from 3D MR images. *Forensic Sci Int*. 277:21–29.
- Meindl RS, Russell KS. 1998. Recent advances in method and theory in paleodemography. *Annu Rev Anthropol* 27:375–399.
- Mitteroecker P, Gunz P. 2009. Advances in geometric morphometrics. *Evol Biol* 36:235–247.
- Mosimann JE, James FC. 1979. New statistical methods for allometry with application to Florida red-winged black-birds. *Evolution* 33:444–459.
- Oxnard CE. 1978. One biologist view of morphometrics. *Annu Rev Ecol Syst* 9:219–241.
- Patriquin M, Steyn M, Loth SR. 2002. Metric assessment of race from the pelvis in South Africans. *Forensic Sci Int* 127:104–113.
- Perez SI, Bernal V, Gonzalez P. 2006. Differences between sliding semi-landmark methods in geometric morphometrics, with an application to human craniofacial and dental variation. *J Anat* 208:769–784.
- Phenice TW. 1969. A newly developed visual methods of sexing os pubis. *Am J Phys Anthropol* 30:297–301.
- Pretorius E, Steyn M, Scholtz Y. 2006. Investigation into the usability of geometric morphometric analysis in assessment of sexual dimorphism. *Am J Phys Anthropol* 129:64–70
- Reyment RA. 1985. Multivariate morphometrics and analysis of shape. *Math Geol* 17:591–609.
- Richtsmeier JT, Deleon VB, Lele SR. 2002. The promise of geometric morphometrics. *Yearb Phys Anthropol* 45:63–91.
- Rissech C, Malgosa A. 1997. Sex prediction by discriminant function with central portion measures of innominate bones. *Homo* 48:22–32.
- Rocha MA. 1995. Les collections ostéologiques humaines identifiées du Musée Anthropologique de l'Université de Coimbra. *Antropol Port* 13:7–38.
- Rohlf FJ, Slice DE. 1990. Extensions of the Procrustes Method for the optimal superimposition of landmarks. *Syst Zool* 39:40–59.
- Rohlf FJ, Marcus LF. 1993. A revolution in morphometrics. *Trends Ecol Evol* 8:129–132.
- Rohlf FJ. 2004. tps serie softwares. Disponible en <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>.
- Rohlf FJ. 1990. Rotational fit (Procrustes) methods. En: Rohlf FJ, Bookstein F (editores), *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*, pp. 227–236. Special Publication Number 2. Ann Arbor. Michigan: The University of Michigan Museum of Zoology.
- Ross AH, McKeown AH, Konigsberg LW. 1999. Allocation of crania to groups via the new morphometry. *J Forensic Sci* 44:584–587.
- Ross AH, Slice DE, Ubelaker DH. 2014. Population Affinities of Hispanic Crania - Implications for Forensic Identification. En Berg GE, Ta'ala SC (Editores), *Biological affinity in forensic identification of human skeletal remains: Beyond black and white*, pp. 155–164. Boca Raton: CRC Press.
- Schultz AH. 1949. Sex differences in the pelvis of primates. *Am J Phys Anthropol* 7:401–424.
- Sheets HD, Keonho K, Mitchell CE. 2004. A combined landmark and outline-based approach to ontogenetic shape change in the Ordovician Trilobite *Triarthrus becki*. En: Elewa A. (Editor), *Applications of morphometrics in paleontology and biology*, pp. 67–81. New York: Springer.

- Slice DE. 2005. Modern Morphometrics. En: Slice DE (Editor), *Modern morphometrics in physical anthropology*, pp. 1–45. New York: Kluwer Press.
- Sokal R, Sneath PHA. 1963. *Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification*. San Francisco: Freeman.
- Spradley KM, Jantz RL. 2016. Ancestry estimation in forensic anthropology: geometric morphometric versus standard and nonstandard interlandmark distances. *J Forensic Sci* 61:892–897.
- Stull KE, Kenyhercz MW, L'Abbé EN. 2014. Ancestry estimation in South Africa using craniometrics and geometric morphometrics. *Forensic Sci Int* 245:206.e1–7.
- Sutter RC. 2003. Nonmetric subadult skeletal sexing traits: I. A blind test of the accuracy of eight previously proposed methods using prehistoric known-sex mummies from Northern Chile. *J Forensic Sci* 48:1–9.
- Taylor JE, Dibennardo R. 1984. Discriminant function analysis of the central portion of the innominate. *Am J Phys Anthropol* 64:315–320.
- Washburn SL. 1948. Sex differences in the pubic bone. *Am J Phys Anthropol* 6:199–208.
- Wiley DF, Amenta N, Alcantara DA, Ghosh D, Kil YJ, Delson E, Harcourt-Smith W, Rohlf FJ, St. John K, Hamann B, Motani R, Frost S, Rosenberger AL, Tallman L, Disotell T, O'Neill R. 2005. Evolutionary morphing. *Visualization, VIS 05, IEEE*: 431–438.
- Wilson L, Cardoso HFV, Humphrey LT. 2011. On the reliability of a geometric morphometric approach to sex determination: a blind test of six criteria of the juvenile ilium. *Forensic Sci Int* 206:35–42.
- Zelditch M, Swiderski D, Sheets H. 2012. *Geometric morphometrics for biologists. A primer*. 2da edición. New York: Academic Press.

# 5

## Consideraciones para la Estimación de Edad al Momento de la Muerte en Esqueletos Subadultos

**Perla Chávez-Martínez<sup>1</sup>**

**Abigail Meza-Peñaloza<sup>2</sup>**

**Francisco Etxeberria-Gabilondo<sup>3</sup>**

Palabras clave: antropología forense, osteología humana, crecimiento, desarrollo.

### RESUMEN

La estimación de la edad en sujetos inmaduros o subadultos es una de las variables a resolver más complicadas a las que se enfrenta el antropólogo forense, debido a la complejidad de valorar distintos procesos de crecimiento y desarrollo para cada uno de los elementos óseos, la preservación diferencial de los restos inmaduros en comparación con los adultos y las necesidades metodológicas del análisis. El capítulo presenta de manera general los requerimientos necesarios para realizar una adecuada estimación de edad, que no únicamente muestra los distintos indicadores que pueden utilizarse, sino también, la etapa biológica en la que son más confiables, las principales propuestas metodológicas que existen y las consideraciones que deben tenerse en cuenta para que los resultados sean objetivos, confiables y válidos para su aplicación en los contextos forenses, en seguimiento a los protocolos de identificación vigentes en México.

---

1 Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

2 Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

3 Universidad del País Vasco, Donostia-San Sebastián, España.

## ABSTRACT

The estimation of age in immature or subadult subjects is one of the most complicated problems that the forensic anthropologist must solve, due to the complexity of the growth and development processes for each of the bones, the differential preservation of the immature remains in comparison with adults and methodological requirements. In such circumstances, it is opportune to develop a chapter that shows in a general way the necessary requirements to make an adequate estimate of age, which not only show the different indicators that can be used, but also the biological stage in which they are more reliable, the main methodological proposals that exist and the considerations that must be taken into account so that the results are objective, reliable and valid for their application in forensic contexts, following the identification protocols in force in Mexico.

## LA ANTROPOLOGÍA FORENSE

La antropología forense es una rama de la antropología física, que tiene por objetivo establecer el perfil biológico de personas y restos humanos o de posible pertenencia humana, mediante la aplicación de técnicas científicas estandarizadas con fines de identificación en procesos legales, en una labor interdisciplinaria con las demás ramas científicas forenses (Stewart 1979; Klepinger 2006; Benito 2015).

El perfil biológico está compuesto por cuatro variables principales: sexo, edad, estatura y ancestría, además, de algunas características complementarias, como patologías o marcadores de estrés ocupacional que permiten la individualización y posterior identificación. Cuando se trabaja con restos óseos se sigue un proceso sistemático y metodológico en el que se busca dar respuesta a las preguntas (cfr. Dupras et al. 2006; Bradley 2007): ¿Es hueso?, ¿De origen humano?, ¿Es contemporáneo?, ¿Cuántos individuos son?, ¿Cuál es la edad, sexo, estatura y ancestría de los restos discernidos?, y ¿Existen características individuales para la identificación?

En el caso de los restos subadultos el proceso de individualización se complica porque hay un número mayor de elementos óseos a evaluar, de los cuales algunos conservan una morfología distinta a la del esqueleto adulto y no siempre tienen el mejor estado de conservación debido a la naturaleza del tejido inmaduro que los compone, y sobre todo, porque regularmente el perfil biológico está limitado a la asignación de edad, dado que las otras variables que lo integran no pueden evaluarse con suficiente precisión o resultan poco viables al no estar presentes la mayoría de los elementos discriminantes para su valoración. En dicho contexto, la edad es la variable que más información aportará en el análisis de un esqueleto subadulto o inmaduro. Además, dado que es un indicador del estado

legal de una persona, dicta las implicaciones y la forma de proceder con los involucrados en un caso forense (Benito 2015; Corron et al. 2018).

En este sentido, cuando se estima la edad es necesaria una elevada confiabilidad en los resultados, el problema se presenta cuando varía la precisión de las estimaciones en función de los elementos óseos recuperados y las características biológicas de los individuos analizados, la metodología y la complejidad del proceso. Por lo que es oportuno, presentar un capítulo que describa los indicadores de crecimiento empleados en la estimación de edad, así como las consideraciones necesarias a retomar en su evaluación, con el objetivo de orientar el proceso de análisis, apeguándose a los protocolos de identificación vigentes en México para antropología forense.

## EL SUBADULTO

El ciclo vital de todo ser vivo inicia desde la concepción y culmina con el momento de la muerte, este proceso está constituido por distintas pautas de crecimiento, desarrollo y madurez (Bogin y Smith 2012). Los humanos somos una especie altricial, lo que significa que las crías nacen vulnerables e inmaduras, necesitando de cuidados parentales durante los primeros años de vida y los infantes humanos crecen lentamente hasta la pubertad y alcanzan la madurez sexual solo después de un período prolongado de socialización y aprendizaje. El ciclo vital se divide en varios periodos, la vida prenatal en embrionario y fetal y la vida postnatal en infancia, niñez, adolescencia, juventud, adultez y senectud, mismos que son regulados por cambios hormonales y aspectos socioambientales que en última instancia, determinan la talla y la maduración sexual de los individuos.



**Figura 1.** Esqueleto fetal

*Fuente: Realizada por el autor/es*

El término subadulto incluye a aquellos individuos que presentan indicadores de desarrollo esquelético y dental en proceso, que no han alcanzado el tamaño y la morfología característicos de los adultos (Corron et al. 2018) (figura 1). No obstante, en función de las características aludidas para el establecimiento de las diferentes etapas o el contexto en el que sean aplicadas, este periodo puede tener numerosas divisiones o recibir distintos nombres (Scheuer y Black 2004; Robledo-Acinas et al. 2013). Para la antropología física, el desarrollo del sistema esquelético se acota en tres periodos o grupos de edad en los subadultos: prenatales (<0 años), infantiles (0-14 años) y juveniles (15 a 18 años), en los que tiene lugar, la aparición de los centros de osificación, su crecimiento y posterior fusión (Robledo et al. 2013:74).

## LA EDAD BIOLÓGICA

El concepto de edad desde el punto de vista de la antropología forense hace referencia a la edad biológica, específicamente ósea, que alcanzó una persona al momento de la muerte y que no necesariamente coincide con la edad cronológica. En subadultos, la edad se corresponde con procesos de crecimiento y desarrollo, es decir, con cambios progresivos incrementales en términos de tamaño, morfología y fisiología de órganos, aparatos y sistemas, sin embargo, dado que estos cambios no avanzan necesariamente en sincronía, la relación que se establece no es simple, ni lineal, sin omitir, que depende en gran medida de características personales y condiciones en las que vivió el sujeto.

En antropología la estimación de la edad biológica se basa en la observación de los cambios que ocurren en el esqueleto a lo largo del tiempo, es decir, se evalúa que tan lejos ha llegado un individuo en el *continuum* de su desarrollo (Scheuer y Black 2000; Benito 2015; Chávez-Martínez 2017), mediante la valoración de tres indicadores universales del crecimiento de un individuo (Acheson 1954): a) la aparición de los centros de osificación, b) el tamaño y aspecto morfológico del hueso evaluado y c) el tiempo de fusión con centros secundarios de osificación.

Dichos indicadores representan las tres fases de desarrollo de algunos huesos y pueden aplicarse diferencialmente en función de la etapa biológica y los requerimientos de la estimación, dado que cada hueso es distinto en patrón de crecimiento, escala de tiempo de desarrollo y fiabilidad (Scheuer y Black 2000; Ubelaker 2005).

La estimación de la edad biológica en casos de interés forense se rige en buena medida por el ciclo vital, por lo que para su establecimiento se utilizan conjuntamente indicadores óseos con patrones de maduración y erupción dental<sup>4</sup>, siendo más confiable el grado de calcificación dental al estar menos afectado por factores ambientales, como malos hábitos de higiene bucodental, patologías, nutrición, clima o tendencias seculares (Ubelaker 1989; Smith 1991; Scheuer 2002; Benito 2015). No obstante, si bien los métodos basados en la calcificación y erupción dental son fiables en edades tempranas, principalmente en el periodo fetal y perinatal, la precisión se va perdiendo conforme la edad del individuo aumenta, volviéndose más complicada a partir de los 10 a 12 años de vida (Ubelaker 1989; Benito 2015).

La confiabilidad de la estimación dependerá del periodo en el que se encuentre el individuo, su estado de conservación, los huesos y métodos que puedan utilizarse, además, de la apreciación del observador. Sin embargo, se debe destacar que las estimaciones de edad de muerte subadultas son más precisas que las del adulto; debido a que en estos últimos se basan en indicadores de envejecimiento o en signos de deterioro que no resultan constantes, al encontrarse fuertemente determinados por factores de índole genético y ambiental (Klepinger 2006). A diferencia de los indicadores en subadultos que representan un pequeño lapso del tiempo total de la vida y por ende una menor variabilidad de la edad evaluada (Saunders 2008).

## CALCULAR LA EDAD: APARICIÓN DE LOS CENTROS DE OSIFICACIÓN

La mayoría de los huesos inician su formación en un lugar constante conocido como centro de osificación primaria, a partir de la sustitución

4 Cabe señalar, como antropólogos forenses en México, únicamente aportamos una parte de la información que debe recabarse para la individualización y posterior identificación de un desconocido, trabajando en equipo con las otras ramas de las ciencias forenses, por lo que será el odontólogo forense el que calculará la edad dental, aun cuando los antropólogos empleen las valoraciones de desarrollo y brote dental como referencia de apoyo en la estimación de edad con elementos óseos.

de un modelo conectivo membranoso o de un modelo cartilaginoso, según el tipo de hueso del que se trate (Mays 1998; Scheuer y Black 2000; Scheuer y Black 2004; Baker et al. 2005; White y Folkens 2005; Eynard et al. 2008; Moore y Persaud 2008). El proceso de osificación en el ser humano presenta dos fases diferenciadas, la primera corresponde al inicio de la formación y crecimiento de los centros de osificación primarios que normalmente se circunscriben al periodo prenatal; y la segunda, a la aparición y desarrollo de los centros de osificación secundaria que suele ocurrir después del nacimiento.

A partir del nacimiento los distintos huesos siguen un patrón de maduración ósea homogéneo que se superpone; van apareciendo todos los centros de osificación primarios que no se habían desarrollado en la gestación, los que ya estaban presentes comienzan a incrementar su tamaño, a adquirir la morfología que tendrán en la adultez y surgen todos los centros de osificación secundarios (Benito 2015).

El desarrollo del esqueleto comienza en la sexta semana de gestación (Sanders 2009), con la osificación de los centros primarios del cráneo, una semana después comienzan a aparecer los centros de osificación de los huesos largos (Lewis 2007; Moore y Persaud 2008). Los centros primarios de osificación para los metacarpios aparecen en la octava semana de gestación, mientras que los de las falanges entre la octava y la onceava semana de gestación. Los carpos y las epífisis de metacarpos comienzan a osificarse después del nacimiento. El orden de osificación de todos los carpos, excepto del escafoides, suele ser constante en ambos sexos y sigue la siguiente secuencia: a los tres meses de vida el hueso grande; después, le siguen el ganchoso, piramidal, semilunar, trapezoidal, trapecio; y finaliza con el pisiforme. El escafoides se osifica antes que el trapecio en los varones; y precede o sigue estrechamente la osificación del trapezoidal en las niñas. El intervalo entre la osificación de los huesos del carpo se puede extender hasta los 12 años (Castriota-Scanderberg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016). Los centros primarios de osificación para los ilíacos aparecen alrededor de la octava semana de gestación, mientras que para los huesos isquiales y púbicos aparecen entre la semana 14 y 17 de gestación. Al igual que la región de las manos, los pies se caracterizan por una secuencia diferencial en el proceso de osificación. Los centros primarios de osificación de los metatarsos aparecen alrededor

de la octava, a la décima semana de gestación, mientras las falanges surgen entre la novena y la quinceava semana de gestación. Los centros de osificación para el astrágalo, calcáneo, metatarsianos y falanges están presentes, generalmente, al momento del nacimiento. El cuboide se osifica durante el primer mes después del nacimiento; la tercera cuña alrededor del quinto mes postnatal; mientras, las otras dos cuñas y el hueso navicular (o escafoides) se osifican entre el segundo a tercer año de vida. La osificación del calcáneo comienza alrededor de la semana 24 de gestación, con la aparición de uno o dos centros primarios que se unen rápidamente en un solo centro, mientras que la osificación del astrágalo ocurre alrededor de la trigésima semana gestacional (Castriota-Scanderberg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016). La osificación del hueso navicular, el cuboide y las cuneiformes puede presentar variaciones a lo largo de la etapa juvenil (Castriota-Scanderberg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016).

En el caso de la columna vertebral, los cuerpos de vértebras cervicales, dorsales, lumbares y sacras, así como sus arcos neurales aparecen a partir del segundo al quinto mes gestacional, siguiendo un orden de aparición de superior a inferior. Las clavículas, escapulas y costillas comenzarán su osificación en las semanas seis, siete y ocho, respectivamente. La información por elemento óseo se observa en la [tabla 1](#). Las principales propuestas para estimar edad empleando el momento de aparición de centros de osificación o la cantidad de centros presentes se pueden consultar en Kjar (1974); Steele y Bramblett (1988); Johnston y Zimmer (1989); Bass (1995); Scheuer y Black (2000); Scheuer (2002); White et al. (2012).

En cuanto a la aparición de los centros de osificación secundaria, se ha encontrado que la cabeza del húmero, la epífisis distal del fémur y la proximal de la tibia, inician su formación alrededor de la semana 36 de gestación; los de la cabeza femoral y el capitulum del húmero no aparecen sino hasta el segundo o el sexto mes después del nacimiento. Por su periodo de formación, la aparición del centro secundario distal del fémur y el centro secundario proximal de la tibia se ha asociado con la llegada a término de los fetos, como referencia para deducir si un individuo había nacido (Scheuer y Black 2004). La epífisis distal del radio generalmente aparece alrededor del primer año de vida y el trocánter mayor del fémur y la epífisis proximal del peroné

**Tabla 1.** Aparición de los primeros centros de osificación primarios

ELEMENTO ÓSEO	INICIO DE OSIFICACIÓN	ELEMENTO ÓSEO	INICIO DE OSIFICACIÓN
<b>Occipital</b>	Semana ocho a 10	<b>Arcos neurales 4S a 5S</b>	Quinto mes
<b>Temporal</b>	Semana siete a ocho	<b>Costillas</b>	Semana ocho a nueve
<b>Esfenoides</b>	Semana nueve a 10	<b>Clavícula</b>	Semana seis
<b>Parietal</b>	Semana siete a ocho	<b>Escápula</b>	Semana siete a ocho
<b>Frontal</b>	Semana seis a siete	<b>Húmero</b>	Semana siete
<b>Huesos nasales</b>	Semana nueve a 10	<b>Radio</b>	Semana siete
<b>Etmoides</b>	Quinto mes	<b>Ulna</b>	Semana ocho
<b>Conchas</b>	Semana 16	<b>Falanges de la mano</b>	Semana ocho a 11
<b>Lacrimal</b>	Semana 10	<b>Metacarpos</b>	Semana ocho
<b>Vómer</b>	Semana nueve a 10	<b>Grande y ganchoso</b>	Cercanos al nacimiento
<b>Cígomático</b>	Semana ocho	<b>Fémur</b>	Semana siete a ocho
<b>Maxilar</b>	Semana seis	<b>Tibia</b>	Semanas siete a ocho
<b>Palatino</b>	Semana siete a ocho	<b>Fíbula</b>	Semana ocho
<b>Mandíbula</b>	Semana seis	<b>Falanges del pie</b>	Semana nueve
<b>Hioides, cuerpo y astas mayores</b>	Pueden aparecer al nacimiento	<b>Metatarsos</b>	Semana ocho a 10
<b>Cuerpos de las 1eras vértebras cervicales</b>	Segundo mes	<b>Calcáneo y astrágalo</b>	Quinto y sexto mes
<b>Cuerpos cervicales, torácicos, lumbares y sacros</b>	Tercer mes	<b>Ilion</b>	Segundo a tercer mes
<b>Arcos neurales de cervicales y torácicas</b>	Segundo mes	<b>Isquion</b>	Cuarto a quinto mes
<b>Arcos neurales 3t a 2l</b>	Tercer mes	<b>Pubis</b>	Quinto a sexto mes
<b>Arcos neurales 3l a 3s</b>	Cuarto mes		

Fuente: Consultado en Scheuer y Black (2000), Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola (2006) y Cunningham et al. (2016).

a los tres años aproximadamente. La osificación de los huesos largos se extiende a lo largo de la infancia y la adolescencia temprana. La patela se desarrolla alrededor de los cuatro años, la cabeza del radio a los cinco años; el epicóndilo medial del húmero a los seis años, la epífisis distal de la ulna a los siete años, el olécranon de la ulna a los diez años, y el epicóndilo lateral del húmero y el tubérculo de la tibia a los 11 años.

Los centros de osificación secundarios de la mano aparecen alrededor de los primeros 12 meses de vida en las niñas y a los 18 meses en los niños, comenzando en las cabezas de los metacarpianos 2°, 3° y 4°; en la base de las epífisis proximales de los mismos dedos, y en la base de la falange distal del pulgar. En el caso de los ilíacos es a los 14 años, cuando los huesos están

completamente formados y los centros secundarios aparecen en las crestas ilíacas y en los bordes inferiores de los isquiones (Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola 2006). La apófisis del calcáneo, ubicada detrás de su margen posterior, comienza a osificarse a mediados de la primera década. En el astrágalo aparece un centro secundario de osificación en el proceso dorsal del astrágalo alrededor del quinto al sexto año (Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016).

Dado que la aparición y desarrollo de la mayoría de los centros de osificación comienzan como formas irregulares o nódulos esféricos u ovoides de hueso que necesitan valorarse en posición anatómica y con una cuidadosa comparación con muestras de referencia (Scheuer y Black



2000; Scheuer 2002; Vega 2009), no se pueden utilizar para establecer rangos de edad a menos que dichos centros se hayan levantado y mantenido en posición anatómica al momento del análisis. Además, debe tenerse en consideración que si el individuo ha fallecido recientemente o se encuentra con tejido blando, la capacidad de detectar formación de hueso variará en función de la técnica de observación que se utilice (Wood et al. 1969; Scheuer y Black 2004). Dado que la aparición de los centros de osificación secundaria, en la etapa postnatal, ocupa un intervalo de tiempo muy amplio, que va desde el nacimiento hasta la adultez, aportará rangos amplios de estimación que no siempre resultarán eficaces.

## TAMAÑO Y MORFOLOGÍA DE LOS CENTROS DE OSIFICACIÓN

La mayor proporción de métodos disponibles para la estimación de edad en el periodo prenatal evalúan la longitud de distintos centros de osificación primaria y la comparan con estándares de referencia, esto es porque se ha encontrado una estrecha relación entre el tamaño del hueso y la edad gestacional (Scheuer et al. 1980; Mays 1998; Scheuer 2002; Khan y Faruqi 2006; Krenzer 2006; Katzenberg y Saunders 2008), sin olvidar que conforme transcurre el proceso de desarrollo, los elementos óseos comienzan a tener una morfología reconocible que facilita la identificación y medición.

Para fetos la longitud diafisaria de los huesos largos se ha diferenciado como uno de los mejores indicadores de edad, debido a que

estos elementos óseos son fácilmente reconocibles y medibles, además, de que tienen un periodo de desarrollo relativamente corto que los hace estables (Fazekas y Kósa 1978; Scheuer y Black 2000; Sherwood et al. 2000; Bradley 2007; Lewis 2007). Las principales propuestas se encuentran en los trabajos de Fazekas y Kósa (1978); Scheuer et al. (1980); Jeanty (1983); Vasconcelos y Ferreira (1998); Warren (1999); Scheuer y Black (2000); Sherwood et al. (2000); Adalian (2001); Varol et al. (2001); Adalian et al. (2002); Khan y Faruqi (2006); Carneiro et al. (2013); Chávez-Martínez (2013); Carneiro (2014); Chávez-Martínez et al. (2016); ver **tabla 2**.

Cuando las diáfisis de los huesos largos no se han conservado completas o se encuentran fragmentadas, se recomienda recurrir a otros huesos más resistentes, a pesar de que los rangos que proveen son más amplios, destaca el tamaño de los huesos del cráneo (Fazekas y Kósa 1978; Scheuer y Black 2000; Tocheri y Molto 2002; Nagaoka y Kawakubo 2015), de atlas y axis (Castellana y Kósa 2001), así como del resto de las vértebras (Kósa y Castellana 2005). Seguidos del ilion, isquion, pubis, clavícula, escápula, primeros metacarpos y metatarsos (Fazekas y Kósa 1978).

El periodo infantil y juvenil también se encuentra cubierto por distintas propuestas de estimación basadas en la longitud de los huesos. Para longitud diafisaria de todos los huesos largos destacan Maresch (1955; 1972) para individuos entre los dos meses y los 18 años; Hoffman (1979) quien incluye sujetos de los dos meses a

**Tabla 2.** Modelos para estimar edad en fetos por longitud diafisaria

Hueso	Modelos de regresión cuadráticos calibrados	Intervalos de confianza
Húmero	$\widehat{edad} = 54.8143 - 14.2857\sqrt{10.7761} - 0.14 \widehat{húmero}$	$IC = \widehat{edad} \pm 1.99 \cdot 1.04 \cdot \sqrt{1.01 + \frac{(longitud\ diafisaria - 32.57)^2}{21470.96}}$
Ulna	$\widehat{edad} = 50.8026 - 13.1579\sqrt{10.4394} - 0.152 \widehat{ulna}$	$IC = \widehat{edad} \pm 1.99 \cdot 1.14 \cdot \sqrt{1.01 + \frac{(longitud\ diafisaria - 30.79)^2}{18684.28}}$
Radio	$\widehat{edad} = 48.2143 - 14.2857\sqrt{9.9280} - 0.14 \widehat{radio}$	$IC = \widehat{edad} \pm 1.99 \cdot 1.30 \cdot \sqrt{1.01 + \frac{(longitud\ diafisaria - 27.60)^2}{11902.86}}$
Fémur	$\widehat{edad} = 66.1613 - 16.1290\sqrt{12.7263} - 0.124 \widehat{fémur}$	$IC = \widehat{edad} \pm 1.99 \cdot 1.00 \cdot \sqrt{1.01 + \frac{(longitud\ diafisaria - 34.46)^2}{31349.94}}$
Tibia	$\widehat{edad} = 68.1538 - 19.2308\sqrt{9.5198} - 0.104 \widehat{tibia}$	$IC = \widehat{edad} \pm 1.99 \cdot 1.14 \cdot \sqrt{1.01 + \frac{(longitud\ diafisaria - 30.14)^2}{22522.5}}$
Fíbula	$\widehat{edad} = 61.8966 - 17.2414\sqrt{9.3665} - 0.116 \widehat{fíbula}$	$IC = \widehat{edad} \pm 1.99 \cdot 1.08 \cdot \sqrt{1.01 + \frac{(longitud\ diafisaria - 30.16)^2}{17230.4}}$

Fuente: Modelos tomados de Chávez-Martínez et al. (2016).

**Tabla 3.** Valores de referencia para edad postnatal por longitud diafisaria.

Edad en años	Hombres		Mujeres		Edad en años	Hombres		Mujeres	
	Media	SD	Media	SD		Media	SD	Media	SD
<b>Húmero</b>					<b>Radio</b>				
0.125	72.4	4.5	71.8	3.6	0.125	59.7	3.3	57.8	2.8
0.25	80.6	4.8	80.2	3.8	0.25	66.0	3.3	63.4	2.8
0.5	88.4	5	86.8	4.6	0.5	70.8	3.5	67.6	3.4
1.0	105.5	5.2	103.6	4.8	1.0	82.6	4.0	78.9	3.4
1.5	118.8	5.4	117.0	5.1	1.5	91.4	4.4	87.5	4.0
2.0	130.0	5.5	127.7	5.8	2.0	98.6	4.7	95.0	4.5
2.5	139.0	5.9	136.9	6.1	2.5	105.2	4.8	101.4	5.0
3.0	147.5	6.7	145.3	6.7	3.0	111.6	5.3	107.7	5.2
3.5	155.0	7.8	153.4	7.1	3.5	116.9	6.2	113.8	5.5
4.0	162.7	6.9	160.9	7.7	4.0	123.1	5.6	119.2	5.7
4.5	169.8	7.4	169.1	8.3	4.5	128.2	5.6	125.2	6.6
5.0	177.4	8.2	176.3	8.7	5.0	133.8	6.1	130.2	6.9
5.5	184.6	8.1	182.6	9.0	5.5	138.9	6.4	134.6	7.2
6.0	190.9	7.6	190.0	9.6	6.0	143.8	5.9	140.0	7.4
6.5	197.3	8.1	196.7	9.7	6.5	148.3	6.4	144.7	7.8
7.0	203.6	8.7	202.6	10.0	7.0	153.0	6.7	149.3	8.0
7.5	210.4	8.9	209.3	10.5	7.5	157.9	6.9	154.3	8.4
8.0	217.3	9.8	216.3	10.4	8.0	162.9	7.1	158.9	8.7
8.5	222.5	9.2	2211.3	112	8.5	166.8	6.6	162.8	8.8
9.0	228.7	9.6	228.0	11.8	9.0	171.3	7.4	167.6	9.3
9.5	235.1	10.7	234.2	12.9	9.5	176.1	7.7	172.2	10.2
10.0	241.0	10.3	239.8	13.2	10.0	180.5	7.9	176.8	10.4
10.5	245.8	11.0	245.9	14.6	10.5	184.4	8.4	181.8	11.8
11.0	251.7	10.7	251.9	14.7	11.0	188.7	8.5	186.0	11.7
11.5	257.4	11.9	259.1	15.3	11.5	193.0	9.2	192.0	121.1
12.0	263.0	12.8	265.6	15.6	12.0	197.4	9.6	192.9	12.7
<b>Ulna</b>					<b>Fémur</b>				
0.125	59	59	59	59	0.125	86.0	5.4	87.2	4.3
0.25	73.8	3.4	71.2	3.1	0.25	100.7	4.8	100.8	3.6
0.5	79.1	3.7	75.7	3.8	0.5	112.2	5.0	111.1	4.6
1.0	92.6	4.4	89.0	4.0	1.0	136.6	5.8	134.6	4.9
1.5	102.3	4.6	98.9	4.4	1.5	155.4	6.8	153.9	6.4
2.0	109.7	4.9	107.1	4.8	2.0	172.4	7.3	170.8	7.1
2.5	116.6	5.2	113.8	5.2	2.5	187.2	7.8	185.2	7.7
3.0	123.4	5.6	120.6	5.4	3.0	200.3	8.5	198.4	8.7

3.5	129.1	6.4	127.2	5.7	3.5	212.1	11.4	211.1	10.0
4.0	135.6	5.6	133.1	5.8	4.0	224.1	9.9	223.2	10.1
4.5	141.0	5.6	139.3	6.6	4.5	235.7	10.5	235.5	11.4
5.0	147.0	6.1	144.6	7.1	5.0	247.5	11.1	247.0	11.5
5.5	152.6	6.7	149.1	7.2	5.5	258.2	11.7	257.0	12.2
6.0	157.5	6.2	154.9	7.4	6.0	269.7	12.0	268.9	13.5
6.5	162.2	6.8	159.9	7.9	6.5	280.3	12.6	279.0	13.8
7.0	167.3	7.0	164.8	8.3	7.0	291.1	13.3	288.8	13.6
7.5	172.2	7.4	170.1	8.5	7.5	301.2	13.5	299.8	15.2
8.0	177.3	7.4	174.9	8.7	8.0	312.1	14.6	309.8	15.6
8.5	181.6	7.1	179.1	8.8	8.5	321.0	14.6	318.9	15.8
9.0	186.4	7.9	184.3	9.5	9.0	330.4	14.6	328.7	16.8
9.5	191.7	8.3	189.7	10.4	9.5	340.0	15.8	338.8	18.6
10.0	196.2	8.5	194.4	10.6	10.0	349.3	15.7	347.9	19.1
10.5	200.4	8.8	200.0	12.4	10.5	357.4	16.2	356.5	21.4
11.0	205.1	9.2	2004.7	12.0	11.0	367.0	16.5	367.0	22.4
11.5	209.8	9.9	211.3	13.1	11.5	375.8	18.1	378.0	23.4
12	214.5	10.2	216.4	13.3	12.0	386.1	19.0	387.6	22.9
<b>Tibia</b>					<b>Fíbula</b>				
0.125	70.8	5.4	70.3	4.6	0.125	68.1	5.3	66.8	4.4
0.25	81.9	5.3	80.8	4.6	0.25	78.6	4.9	77.1	4.1
0.5	91.0	5.2	88.9	5.3	0.5	87.2	4.8	84.9	5.2
1.0	110.3	5.2	108.5	4.8	1.0	107.1	5.5	105.0	5.1
1.5	126.1	6.0	124.0	5.6	1.5	123.9	6.2	121.3	5.9
2.0	140.1	6.5	138.2	6.5	2.0	138.1	6.7	136.0	6.8
2.5	152.5	6.8	150.1	7.0	2.5	150.7	7.1	147.9	7.1
3.0	163.5	7.7	161.1	8.2	3.0	162.1	7.7	159.4	7.9
3.5	172.8	9.8	171.2	8.7	3.5	171.6	9.6	169.6	8.3
4.0	182.8	9.0	180.8	9.5	4.0	181.8	8.7	179.5	9.1
4.5	191.8	9.2	190.9	10.5	4.5	190.8	8.8	189.4	10.2
5.0	201.4	9.9	199.9	11.4	5.0	200.4	9.6	198.6	11.1
5.5	210.3	10.7	207.9	12.5	5.5	209.0	10.2	206.5	11.7
6.0	218.9	10.0	217.4	12.6	6.0	217.5	9.6	216.0	12.2
6.5	227.8	11.6	223.3	13.6	6.5	226.0	10.5	224.3	13.4
7.0	236.2	11.8	234.1	14.1	7.0	234.2	11.3	232.1	13.4

Se presenta la estimación de edad desde los dos meses de nacido hasta los 18 años, de acuerdo con las longitudes de los centros de osificación primarios de los huesos largos.

Fuente: Los datos fueron obtenidos de Scheuer y Black (2000).

los 12 años; Gindhart (1973) para radio y tibia, Anderson et al. (1964) para fémur y tibia (ver [tabla 3](#)). Lally (2013) para la longitud de los huesos de la mano en individuos de cero a 20 años; Scheuer y Maclaughlin-Black (1994) para la región basilar del hueso occipital considerando fetos y postnatales hasta los seis años de edad; Moore y Ross (2017) permiten evaluar la edad en individuos subadultos de cero a 18 años midiendo el desarrollo de los senos frontales; Irurita y Alemán (2016) proponen una fórmula para los pares basilares del occipital en fetos de cinco meses a niños de seis años. Cardoso et al. (2017) propone distintas fórmulas de regresión para la estimación de edad, a partir de las dimensiones de los huesos del hombro y la cintura pélvica no fusionados en individuos que van del nacimiento a los 12 años. Daumas et al. (2016) desarrolla distintas fórmulas de regresión con medidas del ilion de las 20 semanas de gestación a los 12 años. Corron et al. (2017) propone fórmulas de regresión con medidas del ilion en sujetos de cero a 12 años. Passalacqua (2011) permite calcular la edad en subadultos entre uno y 19 años midiendo el calcáneo. Es importante mencionar que a medida que se va aumentando en edad, los métodos que evalúan la longitud de los huesos, en especial aquellos para huesos largos, van perdiendo precisión y se hace necesario el uso de otro tipo de indicadores.

## FUSIÓN DE LOS CENTROS DE OSIFICACIÓN

En los huesos largos entre los centros de osificación primaria (diáfisis) y los centros de osificación secundaria (epífisis) se encuentra una porción de tejido cartilaginoso llamado metafisis, delimitada por una capa especial de cartílago de crecimiento denominado placa epifisaria o fisis; que permite el desarrollo del hueso en sentido longitudinal hasta que este proceso culmina con la fusión de la diáfisis con las epífisis. Existen otros elementos óseos que no tienen epífisis, pero sí placas de crecimiento que permiten su desarrollo, tales como los huesos de la bóveda del cráneo y la región facial.

El momento de inicio de la fusión puede tener lugar en cualquier momento de la vida, desde el último trimestre gestacional hasta la etapa adulta, dependiendo de la función de los tejidos blandos a los cuales se encuentra asociado el elemento óseo, por ejemplo, los huesos

que forman la bóveda craneal y la columna espinal inician la unión de sus centros durante el periodo perinatal, producto del desarrollo del sistema nervioso central (Scheuer y Black 2004). La culminación de la fusión también ocupa una amplia distribución durante toda la etapa subadulta, con algunos casos que se extienden hasta la adultez.

En el caso del cráneo, el proceso de maduración puede evaluarse con la conformación de huesos complejos como el temporal, occipital y esfenoides, cuyos múltiples centros de osificación se fusionan en la infancia, con los huesos de la región facial que comienzan su fusión durante la niñez y la etapa juvenil, o con el cierre de las seis fontanelas presentes en la etapa fetal, a la obliteración de las suturas de la bóveda en la edad adulta, donde la primera estructura en cerrarse es la fontanela posterior, hecho que ocurre generalmente al nacer; en tanto que la fontanela anterior, que es la más grande (aproximadamente mide 2 cm), reduce su tamaño a unos milímetros durante los primeros 18 meses de vida. Las suturas metópica (frontal) y la mendosal (occipital) regularmente desaparecen durante los primeros dos o tres años de vida (Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016). La sincondrosis esenoetmoidal se cierra cerca de los siete años y durante los primeros cinco años de crecimiento, hay un incremento considerable en la sincondrosis esenooccipital y la esenoetmoidal (Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016). Durante los dos a tres primeros años el crecimiento de la sutura frontoetmoidal es rápido y la lámina cribiforme obtiene su longitud total ([figura 2](#)). La silla turca tiene un proceso de remodelación de su contorno hasta cerca de los 10 años y se puede observar cartílago en la región superior del dorso de la silla hasta los 15 años (Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016). Se muestran en la [tabla 4](#).

La unión de las epífisis de los huesos largos ocurre en la etapa juvenil (a finales de la adolescencia). En el proceso de crecimiento de los huesos largos, la placa o fisis del crecimiento comienza a ser más estrecha hasta que finalmente desaparece, lo que permite la fusión entre las epífisis y la diáfisis. Forma parte de este proceso la remodelación que modifica la calidad del hueso, haciendo que el hueso estructuralmente inferior del tejido fibroso del infante ceda el paso al hueso laminar más compacto del adulto. Además, la remodelación reemplaza el tejido



**Figura 2.** Cráneos de individuos de distintas edades

Fuente: Realizada por el autor/es

**Tabla 4.** Etapas de crecimiento y desarrollo de los huesos del cráneo

<b>Fontanelas y huesos craneales</b>	Edad de obliteración y osificación de los principales centros de osificación del cráneo
<b>Fontanelas esfenoidales y posteriores</b>	A partir de los seis meses de vida
<b>Fontanela anterior y mastoideas</b>	Durante el segundo año de vida
<b>Sutura métopica</b>	Inicia a partir del segundo año de vida
<b>hueso etmoides</b>	En el recién nacido las celdillas etmoidales están presentes. La porción superior del tabique nasal se osifica durante el primer año, las dos láminas cribosas durante el segundo año; la apófisis crista galli entre el segundo y cuarto año
<b>Hueso esfenoides</b>	El cuerpo, las alas menores y mayores junto con la apófisis pterigoides se fusionan durante el primer año. El cartilago que separa al cuerpo del esfenoides de la apófisis basilar del occipital comienza a osificarse al finalizar la adolescencia y la sinostosis se da entre los 18 -25 años
<b>Huesos temporales</b>	Al nacimiento no hay apófisis mastoideas; las porciones petrosa y escamosa están parcialmente separadas por la fisura petroescamosa. El anillo timpánico es fino e incompleto y la apófisis estiloides es cartilaginosa
<b>Escama occipital y porción lateral del occipital</b>	Durante el quinto año de vida
<b>Porciones laterales del occipital y región basilar</b>	Durante el sexto año de vida
<b>Fusión del cuerpo mandibular</b>	Inicia tras el primer año de vida

Fuente: Tomado de Castrìota-Scanderbeg y Dallapiccola (2006) y Cunningham et al. (2016).

óseo envejecido o lesionado con hueso nuevo, un proceso que requiere un equilibrio estrecho entre la reabsorción y la formación de hueso cortical y trabecular (Resnick y Niwayama 1988; Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016). El desarrollo de los huesos de la mano se completa con la fusión de todas las epífisis a los 18 años en mujeres y a los 19 años en los hombres (Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016).

Al nacimiento, los ilíacos están bien desarrollados, pero están separados de los isquiones y los huesos del pubis por zonas densas de cartilago irrradiado. A los tres meses, los ilíacos aún están separados de los isquiones y los huesos púbicos, las sincondrosis isquiopúbicas están abiertas, los centros de osificación para las epífisis femorales aún no han aparecido. A los cinco años persiste la separación de los ilíacos de los isquiones y el pubis, pero las regiones isquiopúbicas se encuentran prácticamente cerradas. La fusión de la apófisis del calcáneo ocurre cerca de la segunda década de vida y la fusión del proceso dorsal del astrágalo hacia los años 16 y 20 (Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola 2006; Cunningham et al. 2016).

La fusión de los centros de osificación secundarios de las vértebras, escápulas, clavículas, esternón, sacro y pelvis culminan durante los primeros años de la vida adulta, volviéndose valiosos para la estimación de edad al momento de la muerte en adultos jóvenes (Scheuer 2002; Scheuer y Black 2004). En la [tabla 5](#), se presenta un resumen del surgimiento y fusión de los centros de osificación secundaria. Los tiempos de fusión epifisial, también, se pueden consultar en McKern y Stewart (1957); Kjar (1974); Fazekas y Kósa (1978); Owings y J. (1985); Brothwell (1987); Steele y Bramblett (1988); Buikstra y Ubelaker (1994); Bass (1995); Indriati (1999); Scheuer y Black (2000); (Scheuer y Black 2004); Klepinger (2006); Lewis (2007); Cameriere et al. (2012).

El proceso de fusión está recomendado para evaluar individuos entre los 12 y 20 años, pero se debe, ser precavido al momento de emplearlo, dado que implica una valoración cualitativa, en la que se observa si la placa de crecimiento está abierta, parcialmente cerrada o totalmente fusionada (Bradley 2007; Lewis 2007); pudiendo estar sesgada por la apreciación del investigador. Además, los tiempos informados de fusión son muy variables (Scheuer y Black 2004).

## FACTORES QUE CONSIDERAR EN LA ESTIMACIÓN DE EDAD

Cuando se va a estimar la edad esquelética de un subadulto, se deben tener en cuenta una serie de condicionantes relacionados con la diversidad existente entre individuos y poblaciones, que pueden restar confiabilidad a los resultados:

1. La variabilidad de todos los parámetros óseos aumenta con la edad debido a la actuación de influencias externas tales como, factores genéticos, sociales, culturales y ambientales, que pueden afectar el crecimiento y desarrollo de los subadultos, incluso antes del nacimiento, por lo que la edad estimada no será un indicador exacto de la edad cronológica (Scheuer y Black 2000; Scheuer y Black 2004).
2. Los procesos de maduración y crecimiento varían entre individuos y entre grupos poblacionales: las distintas tasas de crecimiento y velocidad de crecimiento adicionan errores a los cálculos de edad, por lo que se recomienda emplear estándares biológicamente cercanos a la población de origen del individuo. No obstante, la escasez de trabajos es evidente y no siempre se puede recurrir al método más adecuado, sin olvidar que en muchos casos se desconoce o no es posible estimar la ancestría; tal que, se debe tener presente la adición de una fuente de error al cálculo de edad (Chávez-Martínez 2013).
3. El sexo del individuo puede generar discrepancias significativas en los resultados: el dimorfismo sexual y la creciente actividad hormonal en algunos grupos de edad (principalmente postnatales) provoca variaciones importantes en el tamaño y desarrollo del esqueleto, que influyen directamente en la evaluación de edad (Scheuer y Black 2004). El mayor efecto se observa en la incapacidad de sexar correctamente todos los restos subadultos y calcular la edad empleando una metodología específica por sexo. Además, la existencia de un limitado número de propuestas que ofrecen distinción entre ambos sexos.
4. Identificar cuáles fueron los factores que influyeron en la ubicación, dispersión y preservación de los restos analizados. En casos de estudio de restos fetales, infantiles y juveniles; los principales factores a considerar son aquellos que afectan la

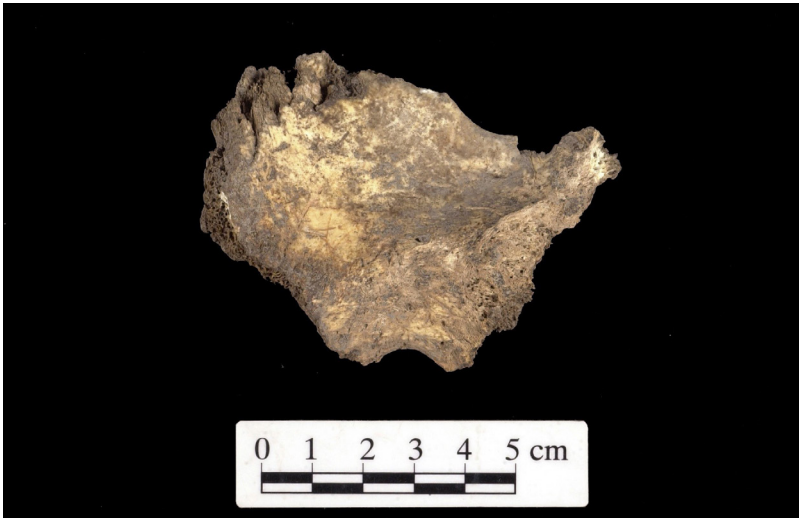
**Tabla 5.** Etapas de crecimiento y desarrollo de huesos poscraneales

HUESO	CENTROS DE OSIFICACIÓN SECUNDARIOS	APARICIÓN DEL CENTRO DE OSIFICACIÓN SECUNDARIO	FUSIÓN
<b>Vértebra</b>	Cuentan con cinco centros de osificación secundarios: en los procesos espinosos y transversos y en forma de anillos que rodean la periferia de las superficies superior e inferior de los cuerpos vertebrales	Entre los 12 - 16 años	18 - 24 años
<b>Sacro</b>	Existen variaciones, pero lo más frecuente es que cuente con 14 centros	De los 12 a 16 años	A partir de los 18 años
<b>Esternón</b>	Es variable el número de centros secundarios de osificación	De los 11-16 años	15 - 24 años
<b>Costillas</b>	En la región no articular del tubérculo y las epífisis de la región articular del tubérculo	12 - 14 años, epífisis de la región no articular del tubérculo 18 años epífisis de la región articular del tubérculo	17-25 años
<b>Clavícula</b>	Cuenta con dos epífisis, una medial y otra lateral	12 - 14 epífisis medial 19 - 20 epífisis lateral	23 años en adelante epífisis medial 19- 20 epífisis lateral
<b>Escápula</b>	Tiene al menos siete centros de osificación secundaria	Ocho - 10 años infracoracoide 14 - 15 años glenoideo 14 - 15 años epífisis del ángulo del proceso coracoide 13 - 16 años epífisis del apex 14 - 16 años epífisis del acromion 15 - 17 años epífisis del borde medio 15 - 17 años epífisis del ángulo inferior	A partir de los 17 - 18 años A los 23 años todas las epífisis están fusionadas
<b>Húmero</b>	Tiene tres epífisis proximal, medial y lateral.	Dos - seis meses epífisis proximal Cuatro años epífisis medial Uno - dos años epífisis lateral	13 - 17 años (mujeres) y 16 - 20 años (hombres) epífisis proximal 13 - 15 años (mujeres) y 14 - 16 años (hombres) epífisis medial 11 - 15 años (mujeres) y 12 - 17 años (hombres) epífisis lateral
<b>Radio</b>	Tiene dos epífisis	Quinto año de vida epífisis proximal Primer año de vida epífisis distal	11.5 - 13 años (mujeres) y 14 - 17 años (hombres) epífisis proximal 14 - 17 (mujeres) y 16 - 20 (hombres) epífisis distal

destrucción del tejido, comprometiendo la exactitud de las evaluaciones y disminuyendo la precisión de las estimaciones; tales como, la actividad de carroñeros que se dedican al mordisqueo de los centros de osificación secundaria y pueden dispersar e incluso desaparecer de manera más efectiva los restos, por tratarse de huesos pequeños con una mayor proporción de tejido cartilaginoso (ver [figura 3](#)). Las condiciones ambientales que afectan el depósito del cadáver: clima, estación del año, tipo de suelo, condiciones de humedad, presencia o ausencia de vegetación y sobre todo las acciones humanas relacionadas con la desaparición y muerte; pueden generar una mayor degradación, debido al contenido orgánico y tamaño pequeño de los restos óseos (Lewis 2007). Algunos estudios han demostrado que los huesos más grandes y compactos conservan más tiempo la densidad mineral ósea (Ross y Cunningham 2011). Se ha registrado que el intemperismo en los huesos de mamíferos pequeños es diferente a aquellos de talla grande, en lo que respecta al agrietamiento, descalcificación y colapso ocurrido durante los primeros cinco años de ex-

posición (Andrews 1995), dicho aspecto puede utilizarse como comparación con los individuos subadultos. Por último, la preservación es diferencial entre los cuerpos de individuos inmaduros y adultos; en los subadultos la descomposición ocurre de manera más rápida debido al tamaño corporal y la menor cantidad de tejido blando que puede ser consumido en menos tiempo por artrópodos (Morton y De Lord 2002).

5. Dado que la estimación de la edad considera patrones de crecimiento y desarrollo de los elementos óseos, se debe poner especial atención en la presencia de patologías que afecten el sistema musculoesquelético y provoquen variaciones en su estructura y tamaño, ya que se pueden obtener altos grados de imprecisión en las evaluaciones y en algunos casos tener un sesgo significativo. Destacan, las alteraciones en el trabajo de los músculos (en particular las parálisis) que modifican el crecimiento y modelado del esqueleto, debido a que la actividad física es esencial para el desarrollo de los huesos. Por ejemplo, los cambios a nivel de las epífisis y del platillo de crecimiento durante los



**Figura 3.** Ilíaco afectado por raíces y mordeduras de cánido

Fuente: Realizado por el autor/es



primeros años de vida debido a carencias nutricionales; o también procesos infecciosos, como la poliomielitis en donde ocurre una fusión precoz de las epífisis en los metatarsos (Resnick y Niwayama 1988; Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola 2006). Las enfermedades congénitas y las displasias que afectan el crecimiento

y la formación de los huesos, así como, el desarrollo del colágeno. Enfermedades en las que aparecen cambios en las articulaciones, calcificaciones u osificaciones con sobrecrecimiento óseo que puede provocar una sobre o subestimación de la edad. En la **tabla 6**, se presenta una lista de enfermedades que alteran la formación de

**Tabla 6.** Algunas enfermedades congénitas que afectan al desarrollo del sistema esquelético

<b>Enfermedad</b>	<b>Hallazgos clínicos / radiológicos en hueso</b>
<b>Displasia epifisiaria múltiple</b>	Los cambios se observan de manera bilateral y simétrica en las caderas, las rodillas, los hombros, tobillos y muñecas. Los centros de osificación secundarios de los huesos largos aparecen tardíamente y cuando comienzan a osificarse aparecen de forma irregular. Puede ocasionar enanismo.
<b>Displasia de Meyer</b>	Osificación retrasada de las cabezas femorales, aparecen a los dos años, en vez de a los seis meses.
<b>Displasia metatrópica</b>	Neonatos e infantes tienen el tronco largo y presentan extremidades cortas. En la niñez se presenta un tipo de enanismo con cifoescoliosis severa y acortamiento de los huesos largos, con ensanchamiento de las metáfisis. El tórax es estrecho y mal osificado. Los cuerpos vertebrales asemejan una muesca; en la pelvis las crestas ilíacas asemejan una media luna.
<b>Condrodisplasia punctata, Enfermedad de Conradi Hünermann</b>	Huesos largos mal modelados, incurvados y engrosados. Las epífisis tienen un aspecto irregular con calcificaciones puntiformes, a modo de perdigones, bien delimitados, principalmente a nivel de las articulaciones de la cadera, rodillas y tobillos.
<b>Acondroplasia</b>	Destaca por presentar extremidades cortas, con ensanchamiento de las metáfisis, cráneo grande con foramen magno pequeño.
<b>Acondrogénesis</b>	Falta de osificación de los cuerpos vertebrales; ilíacos pequeños y deformes, ausencia u osificación insuficiente de pubis, isquion, calcáneo y astrágalo. Huesos tubulares y costillas muy pequeños.
<b>Displasia metafisiaria tipo Schmid.</b>	Pacientes con estatura corta y piernas curvas. Se observa ensanchamiento en las metáfisis y en la placa de crecimiento.
<b>Síndrome de Turner.</b>	Retraso en la fusión epifisiaria, acortamiento de los metacarpos y metatarsos.
<b>Síndrome de Klinefelter</b>	Acortamiento de metacarpos, epífisis supernumerarias, retraso en general de la edad ósea.
<b>Síndrome de Morquio</b>	Enanismo severo, tronco y cuello cortos. El esternón se fusiona prematuramente, carpos pequeños e irregulares.
<b>Mucopolisacarosis</b>	Cierre prematuro de sutura sagital, poco desarrollo de apófisis mastoides y senos paranasales, retraso en osificación de epífisis de los huesos largos.
<b>Síndrome de Hurler</b>	Craneosinostosis precoces, acortamiento y ensanchamiento de huesos largos, carpos pequeños y deformes.

Fuente: Únicamente se mencionan las principales alteraciones en el sistema óseo, para más información consultar Resnick y Niwayama (1988) y Castriota-Scanderbeg y Dallapiccola (2006).

los centros de osificación y el crecimiento de los huesos. Debido a que el número de displasias y aberraciones cromosómicas registradas es numeroso, en este listado sólo se incluyen aquellas patologías que han mostrado ocasionar mayores errores en los procesos de formación y fusión de los centros de osificación.

6. Podrían existir una serie de limitaciones de tipo técnico que pudieran influir determinantemente en la valoración de la edad y en la precisión de las estimaciones. La primera hace referencia a las dificultades del proceso de excavación y recuperación de restos óseos; en donde, diversos factores como la falta de experiencia pueden generar confusiones entre elementos óseos y otros materiales, sea entre individuos de distintas edades o entre ejemplares de distintas especies, que sesgan la representación de algunos de los indicadores de edad y dificultan la medición de muchos de sus elementos. Además, la falta de experiencia en anatomía ósea subadulta puede ocasionar problemas en la estimación de edad, que no se limitan a la dificultad para evaluar las distintas etapas de desarrollo o medir de forma correcta un hueso, sino a la imposibilidad de reconocer y clasificar un mismo elemento óseo y sus partes, en sus distintas etapas de crecimiento y desarrollo, debido a que no es tarea sencilla transcurrir del dominio de la morfología de 206 elementos óseos en el esqueleto adulto, a 450 al inicio de la infancia y 800 en la etapa gestacional (Bass 1995; White y Folkens 2005). Otra limitante, para tener en cuenta, es la existencia de diferencias inter-intra observador, donde las distintas medidas o las observaciones realizadas para un mismo hueso pueden diferir ya sea producto de la valoración llevada a cabo por un mismo observador o por distintos observadores. Finalmente, las diferentes técnicas de observación, ya sea en hueso seco, radiografía, ultrasonido o tinción por alizarina; pueden provocar una valoración métrica o cualitativa diferencial de las estructuras óseas, generando diferencias entre los rangos de edad estimados.
7. Una vez preparado el material de estudio, la última y más importante consideración a tener en cuenta para la estimación

de edad es el método que se elegirá para interpretar las observaciones y calcular el rango de edad. Para que un resultado sea válido en el contexto forense, se recomienda que el método seleccionado cumpla con las siguientes características:

- a. Ser consistente, fiable, aplicable y reproducible (Serrulla et al. 2013).
- b. Haber sido validado (Irrurita y Alemán 2016).
- c. Debe indicar el error estándar de estimación, establecer intervalos y ser lo suficientemente preciso (Ritz-Timme et al. 2000; Cunha et al. 2009; Corron et al. 2018).
- d. Estar construido a partir de una muestra de tamaño aceptable, en la que se represente la totalidad de la población, en términos estadísticos.
- e. Su construcción y aplicación debe respetar principios bioéticos y legales (Ritz-Timme et al. 2000; Cunha et al. 2009; Corron et al. 2018).
- f. Haber sido presentado a la comunidad científica para su revisión (Ritz-Timme et al. 2000; Cunha et al. 2009; Corron et al. 2018).

Además, se recomienda dar prioridad a los métodos realizados a partir de poblaciones cercanas al sujeto de estudio en términos biológicos, temporales (Irrurita y Alemán 2016) y circunstancias contextuales de la muerte (Spake y Cardoso 2018); sin embargo, no existe gran variedad de propuestas metodológicas que cumplan con estas características; por lo que al realizar una estimación, es necesario ser consciente de las limitaciones de los resultados, sobre todo en cuanto a exactitud y confiabilidad se refiere, teniendo en cuenta que como antropólogos solo debemos hacer estimaciones de edad que orienten en la individualización de un esqueleto, las otras ramas de las ciencias forenses se encargaran de determinar la identificación.

Como corolario, cuando se realice una estimación de edad es conveniente tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Cerciorarse de que el esqueleto se encuentre bien lateralizado.
2. Considerar la cantidad de elementos óseos presentes, así como la completitud de éstos y la presencia de alteraciones tafonómicas o enfermedades.

3. Elegir adecuadamente el elemento o los elementos óseos que se pueden valorar y los métodos que se van a emplear; la estimación de la edad se determina con mayor precisión utilizando huesos que experimentan una gran cantidad de cambios en un corto período de tiempo (Scheuer 2002).
4. Una vez seleccionados los elementos óseos se debe definir ¿Cuál es el estimador de crecimiento universal que se puede evaluar? Primero, el tiempo de aparición de un centro de osificación; segundo, el tamaño y la morfología del centro de osificación; o tercero, el momento de la fusión. En términos generales: en individuos prenatales se recomienda utilizar la longitud diafisaria de los huesos largos, en caso de que ninguno se encuentre completo se pueden medir otros huesos del esqueleto. Para los primeros años de la etapa infantil es recomendable evaluar la longitud de los centros de osificación primaria, antes que la presencia y morfología de los centros de osificación secundaria;

para los últimos años de la clasificación, se invierte el orden de preferencia siendo mejor indicador la presencia y morfología de los centros de osificación secundaria, seguidos de la longitud. En individuos juveniles se recomienda valorar el grado de fusión.

5. Se debe presentar una estimación de edad que sea útil, que proporcione resultados homogéneos y repetibles, que deje el menor espacio posible a la ambigüedad pero que esté calculada en rangos, pues no existen características que permitan determinar una edad exacta (Kleping 2006). El rango de edad no debe ser tan estrecho como para no considerar la variabilidad del individuo y tampoco tan amplio para incluir a todos los sujetos de una población, debe orientar en la individualización y tener coherencia con las observaciones.

Por último, es importante recordar que la estimación va a depender del método que se utilizó, su fiabilidad y todos los condicionantes que se han señalado.

## REFERENCIAS CITADAS

- Acheson RM. 1954. A method of assessing skeletal maturity from radiographs. A report from the Oxford child health survey. *Journal Anatomy* 88:498.
- Adalian P. 2001. Evaluation multiparametrique de la croissance foetale. Applications a la détermination de l'âge et du sexe. Marsella: Universidad del Mediterraneo. 269 p.
- Adalian P, Piercecchi-Marti MD, Bourlière-Najean B, Panuel M, Leonetti G, y O. D. 2002. Nouvelle formule de détermination de l'âge d'un fœtus. *Biologies* 325:261-269.
- Anderson M, Messner MB, y Green WT. 1964. Distribution of lengths of the normal femur and tibia from one to eighteen years of age. *Journal of Bone and Joint Surgery* 46A:1197-1202.
- Andrews P. 1995. Experiments in taphonomy. *Journal of Archaeological Science* 22(2):147-153.
- Baker BJ, Dupras TL, y Tocheri MW. 2005. *Osteology of Infants and Children*. Austin: College Station: Texas A&M University Press.
- Bass WM. 1995. *Human osteology. A laboratory and field manual*. Columbia: Special publication no. 2 of the Missouri Archaeological Society.
- Benito M. 2015. El estudio de la edad para la identificación humana. Estudio antropológico forense en el complejo articular del hombro y del esternón para la estimación de la mayoría de edad legal y de la edad de la muerte. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. 364 p.
- Bogin B, y Smith BH. 2012. *Evolution of the Human Life Cycle* En: Stinson S, Bogin B, y O'Rourke D, editores. *Human Biology: An Evolutionary and Biocultural Perspective*. 2da ed: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Bradley JA. 2007. *Forensic Anthropology*. New York: Chelsea House Publishers.
- Brothwell D. 1987. *Desenterrando huesos. La excavación, tratamiento y estudio de restos del esqueleto humano*. México: Fondo de Cultura Económica.

- Buikstra JE, y Ubelaker DH. 1994. Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains. Fayetteville: Research Series, Arkansas Archaeological Survey.
- Cameriere R, De Luca S, Biagi R, Cingolani M, Farronato G, y Ferrante L. 2012. Accuracy of Three Age Estimation Methods in Children by Measurements of Developing Teeth and Carpals and Epiphyses of the Ulna and Radius. *Journal of Forensic Sciences* 57(5):1263-1270.
- Cardoso HFV, Spake L, y Humphrey LT. 2017. Age estimation of immature human skeletal remains from the dimensions of the girdle bones in the postnatal period. *American Journal of Physical Anthropology* 00:1-12.
- Carneiro CFR. 2014. Estimativa osteométrica da idade de fetos humanos: método baseado em medicões radiográficas de ossos longos. Coimbra: Universidad de Coimbra. 203 p.
- Carneiro CFR, Curate F, Borralho P, y Cuhna E. 2013. Radiographic fetal osteometry: Approach on age estimation for the portuguese population. *Forensic Science International* 231:397.e391-397.e395.
- Castellana C, y Kósa F. 2001. Estimation of fetal age from dimensions of atlas and axis ossification centers. *Forensic Science International* 117:31-43.
- Castriota-Scanderbeg A, y Dallapiccola B. 2006. Abnormal skeletal phenotypes: from simple signs to complex diagnoses. Springer: Science & Business Media.
- Corron L, Marchal F, Condemí S, y Adalian P. 2018. A critical review of sub-adult age estimation in biological anthropology: do methods comply with published recommendations? *Forensic Science International*.
- Corron L, Marchal F, Condemí S, Chaumoitre K, y Adalian P. 2017. A new approach of juvenile age estimation using measurements of the ilium and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) models for better age prediction. *Journal of Forensic Sciences* 62(1):18-29.
- Cunha E, Baccino E, Martrille L, Ramsthaler F, Prieto J, Schuliar Y, Lynnerup N, y Cattaneo C. 2009. The problem of aging human remains and living individuals: a review. *Forensic Science International*. 193:1-13.
- Cunningham C, Scheuer L, y Black S. 2016. Developmental juvenile osteology. San Diego: Academic Press.
- Chávez-Martínez P. 2013. Elaboración de estándares métricos para la estimación de edad fetal al momento de la muerte en una población mexicana. Distrito Federal: Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Chávez-Martínez P. 2017. Ecuaciones para estimar la talle fetal al momento de la muerte Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México 171 p.
- Chávez-Martínez P, Ortega-Palma A, Castrejón-Caballero JL, y Arteaga-Martínez SM. 2016. Equations to estimate fetal age at the moment of death in the Mexican population. *Forensic Science International* 266(587):10.
- Damas M, Chaumoitre K, Adalian P, y Marchal F. 2016. Bidimensional data allow for better age estimation on immature specimens than unidimensional data: a preliminary study on the ilium. *Journal of Forensic Sciences* 61(2):394-401.
- Dupras TL, Schultz JJ, Wheeler SM, y Williams LJ. 2006. Forensic Recovery of Human Remains Archaeological Approaches. USA: CRC Press.
- Eynard AR, Valentich MA, y Rovasio RA. 2008. Histología y embriología del ser humano: bases celulares y moleculares. Buenos Aires: Medica Panamericana.
- Fazekas I, y Kósa K. 1978. Forensic fetal osteology. Budapest: Akademiai Kiado Publishers.
- Gindhart PS. 1973. Growth standards for the tibia and radius in children aged one month through eighteen years. *American Journal of Physical Anthropology* 39:41-48.
- Hoffman JM. 1979. Age estimation from Diaphyseal lengths: Two Months to Twelve Years. *J for Sci* 24:2.
- Indriati E. 1999. The roles of forensic anthropology in fetal death investigation. *Berkala Ilmu Kedokteran* 31(3):181-187.
- Irurita J, y Alemán I. 2016. Proposal of new regression formulae for the estimation of age in infant skeletal remains from the metric study of the pars basilaris. *Int J Legal Med*.
- Jeanty P. 1983. Fetal limb biometry. *Radiology* 147:601-602.

- Johnston FE, y Zimmer LO. 1989. Assessment of growth and age in the immature skeleton. En: Iscan MY, y Kennedy KAR, editores. *Reconstruction of life from the skeleton*. New York: Alan R. Liss.
- Katzenberg MA, y Saunders SR. 2008. *Biological anthropology of the human skeleton*. New Jersey: Wiley-Liss.
- Khan Z, y Faruqi NA. 2006. Determination of Gestational Age of Human Foetuses from Diaphyseal Lengths of Long Bones - A Radiological Study. *Journal of the Anatomical Society of India* 55(1):67-71.
- Kjar I. 1974. Skeletal maturation of the human fetus assessed radiographically on the basis of ossification sequences in the hand and foot. *American journal of physical anthropology* 40(2):257-276.
- Klepinger L. 2006. *Fundamentals of Forensic Anthropology*. Hoboken: John Wiley and Sons.
- Kósa F, y Castellana C. 2005. New forensic anthropological approachment for the age determination of human fetal skeletons on the base of morphometry of vertebral column. *Forensic Science International* 147: s69-74.
- Krenzer U. 2006. *Compendio de métodos antropológico-forenses. Para la reconstrucción del perfil osteobiológico*. Guatemala: CAFCA.
- Lalys L. 2013. Estimation de l'âge des immatures par la biometrie radiologique des os de la main. *Biom Hum et Anthropol* 31(3-4):133-137.
- Lewis ME. 2007. *The Bioarcheology of children: Perspectives from Biological and Forensic Anthropology*. New York: Cambridge University Press.
- Maresh MM. 1955. Linear Growth of long Bones of Extremities from Infancy Through Adolescence. *Continuing Studies. Am J Dis Child* 89(6):725-742.
- Maresh MM. 1972. A forty-five-year investigation for secular changes in physical maturation. *American Journal of Physical Anthropology* 36:103-109.
- Mays S. 1998. *The archaeology of human bones*. New York: Routledge.
- McKern TW, y Stewart TD. 1957. Skeletal age changes in young American males. Headquarters, quartermaster research and development command, Technical report E: 45. Massachusetts: Natick.
- Moore K, y Ross A. 2017. Frontal Sinus Development and Juvenil Age Estimation. *The Anatomical Record*.
- Moore KL, y Persaud TVN. 2008. *Embriología clínica*. España: Elsevier.
- Morton RJ, y De Lord WD. 2002. Detection and recovery of abducted and murdered children: behavioral and taphonomic influences. En: Haglund WD, y Sorg MH, editores. *Advances in forensic taphonomy: method, theory, and archaeological perspectives*. Boca Raton: CRS Press. p 151-171.
- Nagaoka T, y Kawakubo Y. 2015. Using the petrous part of the temporal bone to estimate fetal age at death. *Forensic Science International* 248:188.e181-188.e187.
- Owings P, y J. M. 1985. Epiphyseal union of the anterior iliac crest and medial clavicle in a modern multiracial sample of American males and females. *American Journal of Physical Anthropology* 68:457-466.
- Passalacqua NV. 2011. Subadult Age-at-Death Estimation From the Human Calcaneus. *International Journal of Osteoarchaeology*.
- Resnick D, y Niwayama G. 1988. *Diagnosis of bone and joint disorders*. Philadelphia: W. B. Saunders Company.
- Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Schütz HW, Kaatsch HJ, y Borrman HIM. 2000. Age estimation: the state of the art in relation to the specific demands of forensic practice. *International Journal of Legal Medicine* 113:129-136.
- Robledo-Acinas MM, Sanchez-Sanchez JA, y FEernandez-Camacho FJ. 2013. Estimación de la Edad. En: Serrulla F, editor. *Recomendaciones en Antropología Forense Madrid Asociacion Española de Antropología y Odontología Forense*.
- Ross AH, y Cunningham SL. 2011. Time-since-death and bone weathering in a tropical environment. *Forensic Science International* 204(1-3):126-133.
- Sanders JE. 2009. *Age estimation of fetal skeletal remains from the forensic context*. Missoula: University of Montana.

- Saunders SR. 2008. Juvenile skeletons and growth-related studies En: Katzenberg MA, y Saunders RS, editores. *Biological Anthropology of the human skeleton* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. p 117-148.
- Scheuer JL. 2002. Application of osteology to forensic medicine. *Clinical Anatomy* 15:297-312.
- Scheuer JL, y Black S. 2000. *Developmental juvenile osteology*. San Diego: Elsevier Academic Press.
- Scheuer JL, y Black S. 2004. *The juvenile skeleton*. San Diego: Elsevier Academic Press.
- Scheuer JL, Musgrave JH, y Evans SP. 1980. The estimation of late fetal and perinatal age from limb bone length by linear and logarithmic regression. *Annals of Human Biology* 7(3):257-265.
- Scheuer L, y Maclaughlin-Black S. 1994. Age estimation from the pars basilaris of the fetal and juvenile occipital bone *International Journal of Osteoarchaeology* 4:377-380.
- Serrulla F, Prieto JL, y Verano V. 2013. Criterios de identificación. En: Serrulla F, editor. *Recomendaciones en Antropología Forense*. Madrid: Asociación Española de Antropología y Odontología Forense. p 129-142.
- Sherwood RJ, Meindl RS, Robinson HB, y May RL. 2000. Fetal Age: Methods of Estimation and Effects of Pathology. *American Journal of Physical Anthropology* 113:305-315.
- Smith BH. 1991. Standards of human tooth formation and dental age assessment. En: (eds) KMLC, editor. *Advances in dental anthropology*. New York: Wiley-Liss Inc. p 143-168.
- Spake L, y Cardoso HFV. 2018. Are we using the appropriate reference samples to develop juvenile age estimation methods based on bone size? An exploration of growth differences between average children and those who become victims of homicide. *Forensic Science International* 282:1-12.
- Steele DG, y Bramblett CA. 1988. *The anatomy and Biology of the human skeleton*. En: (2009) SyP, editor. Texas: Texas A&M University Press.
- Stewart TD. 1979. *Essentials of Forensic Anthropology*. Springfield: Springfield, IL.
- Tocheri MW, y Molto JE. 2002. Aging Fetal and Juvenile Skeletons from Roman Period Egypt Using Basioccipital Osteometrics. *International Journal of Osteoarchaeology* 12:356-363.
- Ubelaker DH. 1989. *Human skeletal remains. Excavation, analysis and interpretation*. Manuals on Archaeology 2. Washington: Taraxacum.
- Ubelaker DH. 2005. Estimating Age at Death. En: J. Rich DED, and R. H. Powers, editor. *Forensic Medicine of the Lower Extremity: Human Identification and Trauma Analysis of the Thigh, Leg, and Foot*. Totowa: Humana Press Inc. p 99-112.
- Varol F, Saltik A, Kaplan PB, Kihc T, y Yardim T. 2001. Evaluation of Gestational Age Based on Ultrasound Fetal Growth Measurements. *Yonsei Medical Journal* 4(3):299-303.
- Vasconcelos HA, y Ferreira E. 1998. Metatarsal growth during the second trimester: a predictor of gestational age? *Journal of Anatomy* 193:145-149.
- Vega MC. 2009. Estimación de edad en subadultos: Estudio dental y métrico en poblaciones andinas peruanas. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. 80 p.
- Warren MW. 1999. Radiographic determination of developmental age in fetuses and stillborns. *Journal of Forensic Science* 44 (4):708-712.
- White TD, Black MT, y Folkens PA. 2012. *Human osteology*. San Diego: Academic Press.
- White TD, y Folkens PA. 2005. *The human bone manual*. San Diego California: Elsevier.
- Wood NK, Wragg LE, Stuteville OH, y Oglesby RJ. 1969. Osteogenesis of the human upper jaw: proof of the non-existence of a separate pre-maxillary centre. *Archives of Oral Biology* 14:1331-1341.

# 6

## Estimación de la Edad en Individuos Inmaduros Mediante Análisis Radiográfico

**Stefano De Luca**<sup>1,2</sup>

**Ivan Galíć**<sup>3</sup>

**Roberto Cameriere**<sup>3</sup>

Palabras clave: Odontología Forense, identificación humana, menores, maduración ósea, maduración dental, radiografía.

### RESUMEN

Los objetivos de este capítulo son describir los principales métodos de estimación de edad en individuos inmaduros mediante análisis radiográfico, e informar al mismo tiempo sobre las metodologías recomendadas por las comisiones médicas de estudio y aplicadas en casos reales por el personal forense en la Unión Europea (UE), para identificar aquellos menores sin acompañar que llegan indocumentados a las costas de los países del mar Mediterráneo desde los territorios en conflicto del Norte de África y de los países del Oriente Próximo.

### ABSTRACT

The main aim of this chapter is two-fold: first, to find out the most used radiographic methods for assessing age in immature individuals; second, to inform about those radiographic methods that the European study groups have recommended for identifying unaccompanied minors without valid entry documents that have been displaced by war from the neighboring Middle East and Northern Africa.

---

1 Unidad de Derechos Humanos, Servicio Médico Legal, Santiago de Chile, Chile.

2 Departments of Research in Biomedicine and Health and Dental Medicine, University of Split School of Medicine, Šoltanska 2, Split, Croatia.

3 AgEstimation Project, Istituto di Medicina Legale e delle Assicurazioni, Università di Macerata, Macerata, Italia.

## INDIVIDUOS INMADUROS Y ADULTOS

En el ámbito clínico y forense se suele hablar de individuos adultos e inmaduros, estos últimos se agrupan en fetos, neonatos, infantes, niños y adolescentes (Black et al., 2010). La erupción del segundo molar deciduo marca el fin de la infancia; y comienza el periodo de la niñez comprendida aproximadamente entre los 3 y 7 años. Desde el punto de vista del crecimiento y de la madurez, durante esa época ocurren dos importantes eventos: la emergencia de la dentición permanente y el término del desarrollo del cerebro y del eje espinal. Finalmente, en un periodo comprendido entre los 7 y 10 años en las chicas y entre 7 y 12 años en los chicos, se producen los cambios típicos de la preadolescencia que alcanzan su máximo a los 11 años en las chicas y a los 13 años en los chicos, dando comienzo a la fase de la adolescencia. Ésta última, que dura aproximadamente 6 años, precede la fase adulta cuyo comienzo puede variar de acuerdo con el sexo: 16-18 años en las chicas y 18-21 años en los chicos (Black et al., 2010).

## EDAD CRONOLÓGICA Y EDAD BIOLÓGICA

Un menor sirio afirmó en una entrevista con el médico: “*La máquina dice que tengo 18 años. Pero la máquina no es mi madre. Sólo mi madre sabe cuándo nací*”. La palabra edad se refiere al tiempo transcurrido desde el nacimiento de un ser vivo. ¿Es posible medir ese tiempo y estimar con precisión la edad de cualquier individuo? En caso afirmativo, ¿qué margen de error muestran las técnicas aplicadas? Sin un documento de identidad que acredite fehacientemente la edad de un individuo, el único dato cuantificable es su edad biológica o la edad expresada por el grado de maduración ósea y dental, que se alcanza habitualmente a una determinada edad cronológica en un grupo de población determinado. Por lo tanto, la edad biológica, aun cuando los procesos madurativos que la expresan suelen correr paralelos a ella, no se corresponde nunca a la edad cronológica. De hecho, mientras que la edad cronológica es un proceso constante, es decir, mañana vamos a tener exactamente un día más que hoy, la edad biológica depende del grado de maduración del individuo. Los procesos de maduración, que se evalúan para estimar la edad biológica, están marcados por la variabilidad como consecuencia de múltiples factores en

la vida de un individuo: la genética, el estatus socioeconómico, las condiciones higiénico-sanitarias, la alimentación, las prácticas deportivas y las enfermedades (Black et al., 2010; Lilliequist y Lundberg, 1971).

Con el propósito de desarrollar estándares de maduración, se han estudiado distintos indicadores con una fiabilidad determinada para cada rango de edad cronológica del individuo. De acuerdo con la definición de Cameron (1997), estos indicadores corresponden a cambios conocidos y secuenciales que se dan en una parte, o varias, del cuerpo y son característicos de la progresión del individuo desde su nacimiento hacia la madurez completa. Los indicadores más comúnmente usados son los siguientes: 1) desarrollo óseo, 2) desarrollo dental y 3) desarrollo de los caracteres sexuales secundarios (vello púbico, vello axilar, desarrollo genital, y de los senos).

## ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN INDIVIDUOS INMADUROS: MADURACIÓN ÓSEA Y DENTAL

Los especialistas disponen de múltiples métodos de diagnóstico, unos más precisos que otros. Pero, al momento de decidir, siempre es importante contar con cuatro requisitos fundamentales (Ritz Timme et al., 2000; Daubert, 1993): 1) el método debe estar estandarizado; 2) haber sido publicado en revistas científicas con sistema de revisión por pares (*peer-review*); 3) su precisión debe ser adecuada para el intervalo de edad considerado; 4) tener en cuenta las normas de ética médica. Este último criterio es especialmente válido cuando hablamos de individuos vivos, en los cuales es imperativo que el método muestre un adecuado equilibrio entre riesgos y beneficios. En este sentido, por ejemplo, ciertas pruebas radiográficas (rayos X convencionales) deben ser descartadas *a priori*, si en su lugar se pueden aplicar otras técnicas con un menor riesgo de exposición radiológica, como la resonancia magnética (EASO, 2018).

Una vez aclarado esto, en individuos inmaduros todos los métodos se basan siempre en el análisis cualitativo o cuantitativo de la maduración ósea y dental para evaluar los cambios en curso como medida de la edad biológica del individuo (Liversidge et al., 1998).



La evaluación de la maduración ósea se basa exclusivamente en el análisis de los cambios de forma y tamaño de los huesos, y del grado de fusión ósea (sinostosis) entre epífisis y diáfisis. Durante el proceso de crecimiento de los huesos largos, se pueden diferenciar tres partes: la diáfisis y las dos epífisis, todas formadas por tejido óseo, y la metafisis, o cartílago de crecimiento, que está formada por tejido cartilaginoso. Desde el nacimiento, todos los huesos largos crecen en longitud hasta que las epífisis y las diáfisis se fusionan y el crecimiento termina, y son la fusión de los componentes del acetábulo del hueso coxal y la sinostosis de la epífisis esternal de la clavícula los últimos distritos anatómicos en completar su maduración (Martín et al., 2011).

Este crecimiento longitudinal sigue una velocidad más elevada en las etapas iniciales del desarrollo y ralentiza a medida que se va acercando la edad adulta (Gilsanz y Ratib, 2005). Los cambios de forma y tamaño, y la fusión de los centros de osificación en el esqueleto, muestran un patrón de progresión tan conocido que son frecuentemente usados por los clínicos en el estudio de la variabilidad del desarrollo del individuo y, por los forenses, para estimar la edad en los múltiples casos de la práctica forense. Sin embargo, la maduración ósea resulta ser menos fiable que la maduración dental, ya que las velocidades de fusión de las epífisis, y el cierre de los cartílagos metafisarios, pueden estar condicionados por factores ambientales, la dieta, y los cambios seculares (un proceso de cambios en el tamaño y en la maduración que ocurre cada generación de 20-25 años aproximadamente) (Tuncan, 2004).

El desarrollo dental consta de dos etapas: una formativa (mineralización) y otra eruptiva (erupción y emergencia). El proceso de mineralización es más fiable que el de erupción porque no está tan influenciado por los procesos infecciosos, por la escasa higiene bucodental, la malnutrición o por las tendencias seculares (Black et al., 2010; Cameriere et al. 2007; Cole, 2000; Seow y Wan, 2000). Por ejemplo, durante la etapa de sustitución de la dentición temporal por la definitiva, el hecho de que se produzca la pérdida prematura de un diente deciduo puede retardar la emergencia del diente permanente que lo reemplaza (Mendoza, 2005).

El crecimiento de los dientes inicia en la cúspide de la corona y avanza en sentido apical hasta el cierre completo de la raíz. Cuando se ha formado un tercio de la raíz, se produce la erup-

ción dental y el diente emerge del alveolo óseo. A partir de ese momento, el diente continúa su crecimiento dentro del alveolo dentario hasta concluir el cierre apical. En los dientes deciduos en formación se produce; en primer lugar, una calcificación de la raíz, y después una descalcificación progresiva que coincide con la formación de los dientes permanentes subyacentes. Esta descalcificación provoca la caída del diente deciduo cuando el diente definitivo, ubicado debajo del anterior, esté listo para su erupción. Los dientes permanentes van gradualmente reemplazando a los deciduos hasta completar la dentición adulta (16 años), con la excepción de los terceros molares, de erupción más variable y tardía (18-23 años) (Gómez-de Ferraris y Campos, 2002).

La variabilidad del desarrollo dental puede aumentar con la edad del individuo. Por ejemplo, el desarrollo inicial de los primeros dientes en formación (incisivo y primeros molares) son menos variables, que las etapas más tardías de los últimos dientes. Por lo tanto, en un individuo inmaduro, a una edad cronológica más cercana a los 18 años, corresponde una mayor imprecisión en la estimación de su edad biológica (Cruz-Landeira et al., 2010; Rózylo-Kalinowska et al., 2008).

## ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE INDIVIDUOS INMADUROS

La estimación de la edad en vivos requiere un consentimiento informado por parte del presunto menor. Por lo tanto, se necesitan métodos no invasivos y muy precisos debido a los requerimientos de las autoridades judiciales (EASO, 2018). En el contexto forense, con más frecuencia, se solicita, realizar una estimación de la edad, en la identificación de presuntos menores involucrados en hechos delictivos, tanto como víctima, como responsable. Se trata en su mayoría de inmigrantes indocumentados o pertenecientes a grupos criminales que, en unos casos, carecen de documentación fiable en la que conste la fecha de nacimiento y, en otros, la ocultan con el fin de obtener los beneficios que la ley contempla para los menores de edad (Barbería y de Nova, 2003; Black et al., 2010; Garamendi et al., 2005). Se estima que cada año, más de 50 millones de nacimientos quedan sin registrar, especialmente en el sur de Asia y en África subsahariana. Además, la migración de la población como consecuencia de la guerra, el hambre o los desastres naturales, puede suponer el extravío

de los documentos de registro de nacimiento o su sustracción por parte de las mafias (OECD, 2008; Parson et al., 2005).

La estimación de la edad de un menor es fundamental en los siguientes casos: solicitudes de asilo, contrabando y tráfico de menores, turismo sexual, matrimonios precoces, pornografía infantil, estipulación de contratos laborales, consentimiento para tratamientos médicos, falsificación de la edad en el deporte (Pradella et al., 2017; Schmeling et al., 2005).

Los menores ilegales no acompañados, al tomar contacto con las autoridades de los países acogedores, deben ser adecuadamente identificados para asegurar el respeto de sus derechos y el cumplimiento de sus deberes (EASO, 2018). De hecho, en el caso de que se demuestre su minoría de edad legal, se beneficiarán de medidas legales favorables sea como inmigrantes, sea como víctimas o responsables de conductas delictivas. Por lo tanto, la estimación de la edad es un asunto trascendental que exige la confianza pública en el proceso y en los métodos utilizados. Esto resulta especialmente importante en la Unión Europea, donde se está asistiendo a reacciones descontroladas de la opinión pública, de los políticos y de los medios de comunicación ante las oleadas migratorias. Este asunto tiene importantes implicaciones económicas y sociales: con respecto a las primeras, un individuo considerado menor tiene derecho a la completa protección del Estado, lo que incluye educación, sanidad y apoyo social; en relación a las segundas, un menor incorrectamente considerado como un adulto (error ético) corre el riesgo de sufrir abusos y explotación por parte de los inmigrantes realmente adultos. Del mismo modo, los adultos considerados como menores (error técnico) podrían suponer un riesgo para otros menores al entrar en contacto con ellos. Por lo tanto, ante este desafío, la mejor estrategia consiste en abordar una metodología fiable para estimar la edad (Focardi et al., 2014).

En la actualidad, no existe un método seguro, rápido, fiable y económico que permita estimar con precisión la edad de responsabilidad criminal que, en la mayoría de los países, es de 18 años. En general, en el caso de la estimación de la edad de muerte en individuos inmaduros, se puede realizar una evaluación de la maduración ósea y dental sin preocuparse en exceso si la técnica utilizada sea invasiva o poco ética. Por otro lado, ante la necesidad de estimar la edad de individuos vivos, la preocupación debe sobrar ya que en muchos casos se aplican métodos

invasivos, como por ejemplo el examen radiográfico. Éste último, está prohibido en muchos países debido al riesgo asociado a su aplicación para fines de estimación etaria. Por ejemplo, en Gran Bretaña, su uso es sancionado no sólo por las agrupaciones médicas sino también por las cortes de justicia civil y penal (Crawley, 2007; Unicef, 2010).

A este propósito, Seidel y Kanies definieron once requisitos a cumplir antes de estimar la edad de presuntos menores (2010): 1) la estimación debe llevarse a cabo sólo en caso de dudas sobre la edad del individuo; 2) si hay dudas, al individuo se le trata siempre como un menor, facilitándole un tutor, alojamiento y con la prohibición absoluta de detenerlo; 3) el individuo debe dar consentimiento informado del procedimiento y sus riesgos médicos, así como de sus potenciales consecuencias. La información debe ser proporcionada de manera apropiada, según la edad y el sexo del individuo, y en un lenguaje comprensible; 4) los métodos deben ser herramientas de carácter interdisciplinarios y respetar la dignidad del individuo; 5) el margen total de error de los métodos empleados debe documentarse y aplicarse a favor del individuo; 6) la estimación debe hacerse por profesionales cualificados e independientes, y no las fuerzas del orden o funcionarios judiciales; 7) el individuo debe estar a salvo de la deportación hasta que la estimación de la edad y cualquier apelación se haya completado. Debe disponer de información y asesoramiento legal apropiado; 8) todas las medidas tomadas deben comunicarse de una manera adecuada; 9) se le facilitará al menor documentos de identificación provisionales; 10) el resultado debe proporcionar al individuo el derecho de apelación; 11) la deportación de un joven no debe depender sólo del resultado de la estimación de su edad sino del análisis completo de su situación.

En Europa, existe un debate político, social y científico muy complejo sobre la metodología más adecuada para la estimación de la edad en presuntos menores (EASO, 2018; Schmeling et al., 2011). Debido al incremento exponencial de casos en los que los tribunales de justicia solicitan este tipo de estudio, se elaboró, como iniciativa del grupo alemán para el diagnóstico de la edad forense (Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik, AGFAD), una guía en la que se incluyen las recomendaciones para la estimación de la edad de individuos vivos, de edad comprendida entre 14 y 21 años, implica-

dos en procedimientos judiciales (<http://rechtsmedizin.klinikum.uni-muenster.de/agfad/index>). La finalidad de esta guía es la implementación de un protocolo común para la estimación de la mayoría de edad legal. La guía sugiere un procedimiento que consta de cuatro etapas: anamnesis general y examen físico (estatura, peso y tipo de físico), examen radiográfico de la mano izquierda, examen externo del estado de la dentición y radiografía dental, y examen radiográfico de la región cervical. Si la maduración de los huesos del carpo de la mano izquierda es completa, se requiere un examen radiográfico adicional, sea una resonancia magnética (RM) o una tomografía computarizada (TC) del extremo esternal de la clavícula, cuyo cierre se completa alrededor de los 25 años (Schmeling et al., 2004, 2006). Las directrices y normas para el uso de la radiación ionizante varían de país en país y entre los distintos grupos forenses. La exploración física tiene como finalidad, por una parte, dejar constancia del grado de maduración física externa y, por otra, registrar todas las posibles patologías que hayan podido afectar el ritmo de maduración (Aguado, 2004).

Gracias a estas recomendaciones, se ha podido implementar un protocolo de actuación uniforme y con el buen propósito de estimar la edad y resguardar los derechos y la igualdad de todos los individuos, así como asegurar la correcta aplicación de los métodos de estimación (EASO, 2018).

Antes de proceder a la descripción de los principales métodos, es necesario hablar brevemente de la radiología médica y sus aplicaciones en contextos forenses.

## LA RADIOLOGÍA EN ÁMBITO FORENSE

El invento de los rayos X se produjo en 1895 por parte de Wilhelm C. Röntgen quien por ello ganó el premio Nobel de Física en 1901. En 1897, Albert Londe, un médico francés, publicó un estudio (*Les Rayons Roentgen et Les Momies*) sobre radiografías realizadas en una falsa momia japonesa y en el brazo de una momia egipcia, y destacó el hecho de que en las radiografías se apreciaban datos que podrían ser muy útiles para el desarrollo de la medicina legal. Propuso, además, que los rayos X podrían ser un instrumento conveniente para realizar diagnósticos de edad de los individuos, sin alterar ninguna “pie-

za de convicción”. En 1904, Gardiner realizó radiografías de una serie de momias del British Museum y observó que se podía usar la radiografía para estimar la edad de muerte mediante el análisis de un hueso de una de las momias.

Durante los primeros cincuenta años desde su descubrimiento, los tiempos de una radiografía eran muy lentos y por tanto la radiación muy fuerte y peligrosa. Sin embargo, se generalizaron los estudios sobre individuos vivos destinados a confirmar los estándares de maduración de distintos distritos anatómicos, sin tener aún una conciencia clara de los riesgos implícitos en su uso indiscriminado para fines de investigación (Thomas y Banerjee, 2013).

## LA RADIOLOGÍA PARA USOS FORENSES EN PRESUNTOS MENORES

Cualquier exploración radiológica en presuntos menores debe ser ordenada por juez o fiscal y ser remitida por escrito al médico con una clara especificación de las cuestiones que dicha autoridad desea aclarar respecto a la estimación de la edad. La decisión de qué tipo de pruebas radiológicas sean necesarias en cada caso la tomará el médico, y nunca una autoridad policial, judicial o fiscal, dado que se trata de pruebas riesgosas que deben tener una adecuada indicación médica para ser consideradas aceptables desde un punto de vista ético. El supuesto menor debe ser informado, en un lenguaje comprensible para él, de los objetivos, de los riesgos y de la naturaleza de las pruebas indicadas. Él puede negarse a ser sometido a los exámenes propuestos, lo que deberá ser comunicado a la autoridad que ordena el estudio para los fines que ésta estime oportunos. Finalmente, los resultados deberán ser evaluados por un médico forense, quien realizará la integración de todos los resultados y elaborará el pertinente informe pericial para la autoridad solicitante (EASO, 2018).

En algunos países como el Reino Unido, la falta de consentimiento informado es ilegal y puede llevar al infractor a enfrentarse a cargos legales por abuso y conducta profesional indebida. Por eso, según muchos profesionales médicos, la radiografía no es apta para el fin propuesto, es poco ética y potencialmente ilegal. De hecho, el Comité Olímpico Internacional (COI) y la *Fédération Internationale de Football Association* (FIFA) prohíben la radiografía como

prueba para la estimación de la edad (Engebretsen, 2010), una postura apoyada además por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las autoridades internacionales de la energía atómica.

Más allá del Reino Unido, en donde el Gobierno finalmente rechazó el uso de la radiografía para estimar la edad, y de la crítica internacional proveniente del mundo de la endocrinología pediátrica y de las asociaciones deportivas, el examen radiográfico se sigue utilizando ampliamente en los estados miembros de la UE, y en muchos otros países del resto del mundo (EASO, 2018).

En la comunidad científica existe gran preocupación por la posibilidad de que los menores no acompañados sean sometidos a una excesiva radiación ionizante con fines únicamente periciales (EASO, 2018). La dosis efectiva de una radiografía de la muñeca es de 0,1 microsievert ( $\mu\text{Sv}$ ), de una ortopantomografía (OPG) es de 26  $\mu\text{Sv}$ , de una radiografía convencional de la clavícula es de 220  $\mu\text{Sv}$ , y de una tomografía computarizada de clavícula es de 600  $\mu\text{Sv}$ . Considerando que la dosis de radiación emitida durante un vuelo internacional es de aproximadamente 50  $\mu\text{Sv}$ , todas las dosis arriba indicadas no representan por sí mismas una cantidad nociva de radiación (Black et al., 2010). Sin embargo, y siempre considerando el efecto estocástico (al azar) de las radiaciones, el médico que solicite las pruebas debe demostrar la estricta necesidad de estas, informando al presunto menor de las posibles consecuencias de la exposición a dichas pruebas e intentando agotar todos los medios de prueba antes de proceder con el análisis radiológico (EASO, 2018).

La estimación médica de la edad de un presunto menor, además de ser un procedimiento extremadamente complejo, debe ser un procedimiento técnico basado en evidencia científica. Por lo tanto, es fundamental usar métodos cuya fiabilidad y precisión hayan sido validadas. En estas dos últimas décadas, se han propuesto dos protocolos de actuación para la estimación etaria en menores, uno del año 2000, del que ya hablamos (AGFAD) (Schmeling et al., 2016), y otro de 2010 (Garamendi, 2011). Este último fue desarrollado por el “Grupo sobre determinación de la edad en menores extranjeros no acompañados”. Las conclusiones fueron las mismas que el anterior: se hizo hincapié en que todos los métodos utilizados deben preservar la dignidad y seguridad del individuo, y que el procedimiento

de aplicación debe ser comprensible para el presunto menor y expresamente consentido.

## ESTIMACIÓN DE LA EDAD ÓSEA MEDIANTE RADIOGRAFÍA DEL CARPO

En 1896, Angerer, en Alemania, fue el primero en proponer el carpo como indicador de edad ósea. En la práctica forense, el carpo es el indicador más usado porque es de fácil acceso y posee un gran número de huesos y epífisis en desarrollo cuya maduración ósea ocurre a un ritmo regular (Black et al., 2010; Cole et al., 1988).

La osificación de los huesos del carpo tiene lugar a partir de un núcleo único para cada hueso. Empieza en el primer año de vida en el hueso grande y en el ganchoso; durante el tercer año en el piramidal; durante el cuarto año en el semilunar; del cuarto al sexto año en el trapecio, trapecoide y escafoides, respectivamente; y en el pisiforme hacia el undécimo o duodécimo año de vida. La osificación suele empezar antes en el sexo femenino y se completa entre los 14 y 16 años (Garn et al., 1967).

En 1937, T. Wingate Todd (1937) recopiló las radiografías de la mano realizadas a los individuos de una muestra de la *Western Reserve University School of Medicine de Cleveland*, Ohio y, junto con comparaciones de una serie de esqueletos que analizó, publicó su *Atlas of Skeletal Maturation of the Hand*, basado en la selección de una radiografía de la mano representativa por cada edad y sexo. Dicha radiografía debía cumplir dos requisitos: tener igual grado de desarrollo para los 28 huesos y núcleos de osificación analizados, y corresponder a un individuo con un grado de desarrollo corporal situado en la media de lo que correspondería a su edad y sexo.

El Atlas de Todd se usó como referencia hasta que en, el año 1950, fue revisado por dos de sus discípulos, W. Greulich y S. Idell Pyle, que desarrollaron *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*, publicado en dos ediciones (1951, 1959). La serie de Greulich y Pyle se basó en el estudio de una muestra total de 1000 niños norteamericanos sanos, de edad entre 0 y 18 años, de clase medio-alta, la mayoría de ellos de origen norte europeo y nacido en los Estados de Cleveland y Ohio.

La técnica consiste en realizar una radiografía postero-anterior de la mano izquierda para valorar el grado de maduración de los huesos del

carpo. La selección de la mano izquierda se debe a una serie de razones: 1) se puede reducir la radiación soportada por el individuo a la mitad; 2) es una convención antropométrica estipulada en un Acuerdo Internacional celebrado en Mónaco y Ginebra en los años 1906 y 1912; 3) ya que los diestros representan la mayoría entre la población, el lado derecho es el más susceptible para sufrir traumatismos y modificaciones hipertróficas por el mayor uso; 4) aunque existan discrepancias en la lateralidad, se ha demostrado que esas diferencias no son significativas y afectan a un período determinado del crecimiento, por debajo de los 6 años de edad.

Antes de tomar la radiografía, es necesaria la valoración del estado de salud del individuo para determinar la presencia de rasgos clínicos que hayan podido afectar el desarrollo óseo, como por ejemplo la enuresis nocturna (micciones incontroladas) (Dundaroz et al., 2001), el déficit de la hormona del crecimiento (Vallejo-Bolaños et al., 1999), la obesidad (Bueno et al., 2006), el deporte de elite (Theintz et al., 1993), o las malformaciones óseas y la exposición a agentes físicos, como las congelaciones (Freyschmidt et al., 2001). De hecho, un retraso del desarrollo provoca una subestimación de la edad que podría perjudicar al individuo en términos de persecución criminal. Por el otro lado, una sobrestimación, causada por un incremento rápido del desarrollo, debe ser evitada a toda costa (Black et al., 2010; EASO, 2018).

Una vez obtenida la radiografía, hay dos opciones: o se compara la radiografía con un atlas de referencia (método clásico o cualitativo), o se aplica el método de los “scores” (cuantitativo), es decir se le asigna una puntuación a cada uno de los centros de osificación del carpo y se evalúan de acuerdo con una escala de desarrollo, como el sistema de Tanner-Whitehouse (1962, 1975 y 2001). Si se elige la primera opción, los atlas más conocidos son el de Greulich-Pyle (1959) y el de Todd (1937): se compara la radiografía obtenida con las imágenes del atlas, para encontrar aquella que mejor represente el grado de desarrollo del individuo. La edad asociada a la radiografía prototipo del atlas representa la edad ósea del individuo. Cuando el estado de maduración se encuentra entre dos estándares, se le asigna aquél que se considera más próximo.

Para el resultado final, se tiene en cuenta si se corresponde exactamente con una edad ósea, y en ese caso se le asigna ésta.

Los atlas no han sido concebidos para estimación de la edad forense sino como una guía pediátrica para la evaluación del crecimiento óseo como medida de predicción de la talla adulta. Sin embargo, es uno de los métodos más comúnmente utilizados para estimar la edad ósea en menores. Su ventaja fundamental es la sencillez de interpretación por parte del observador (Schmeling et al., 2008).

Si se escoge la segunda opción, los “scores” son indicadores de maduración para cada núcleo de osificación, y se le asigna una puntuación a cada uno de los estadios de madurez según el sexo. La suma de las puntuaciones proporciona un índice de maduración ósea, uno para cada sistema, el cual posteriormente se convierte en edad ósea de acuerdo con unas tablas específicas de conversión, las cuales están divididas por sexo y por sistema.

Las principales desventajas de ambas opciones son las siguientes: están basados en muestras poblacionales muy antiguas; ninguno de ellos permite valorar la maduración ósea en los primeros años de vida del individuo, ya que el recién nacido no está presente en ninguna etapa de osificación del carpo (Gilsanz y Ratib, 2005; Zhang et al., 2007).

Con respecto a la fiabilidad de la técnica, el componente subjetivo es muy marcado y el atlas proporciona meras estimaciones de la maduración ósea del individuo. Además, las características socioeconómicas de cada población son para algunos autores de gran influencia sobre las variaciones en el ritmo de maduración de la edad ósea (Black et al., 2010; Schmeling et al., 2001).

En las últimas décadas, se ha iniciado la aplicación de nuevos procedimientos de análisis de imagen, parcial o íntegramente automatizados, a la valoración de la maduración ósea, con el objetivo de solucionar los problemas de los métodos tradicionales (la subjetividad y el tiempo de ejecución) y aumentar la continuidad de la escala de maduración ósea<sup>4</sup> (Mentzel et al., 2005; Santos et al., 2011; Thodberg et al., 2009).

4 BoneXpert – Dinamarca <http://www.bonexpert.com>

Maturus 4.0 – Francia [http://www.auxologie.com/maturation\\_squelettique/maturus.php](http://www.auxologie.com/maturation_squelettique/maturus.php)  
Sunlight BonAge System – Israel <http://www.beammed.com/products/bonage>

Cameriere et al. (2006b), en una versión más reciente de los métodos planimétricos (Choi et al., 2018), y mediante una evaluación de las medidas dimensionales (longitud/anchura) de los centros de osificación, desarrollaron un método cuantitativo basado en la relación entre el área total formada por los huesos del carpo, las epífisis distales de cubito y radio, y la suma del área de cada hueso del carpo, observadas en una radiografía del carpo de la mano izquierda. Esta relación se incluye como variable, junto al sexo del individuo, en un modelo de regresión lineal para la estimación de la edad ósea con un error final de 1,2 años.

El análisis de la radiografía del carpo tiene por lo general una doble ventaja: 1) un carpo inmaduro indica con gran probabilidad la minoría de edad; 2) la radiografía del carpo es útil como prueba orientativa antes de poder utilizar el tercer molar o la tomografía computarizada de clavícula, una prueba con elevada exposición a la radiación ionizante (Black et al. 2010; EASO, 2018).

## ESTIMACIÓN DE LA EDAD DENTAL

La maduración dental consta de dos etapas: la formación de las coronas y raíces de los dientes (mineralización), y la erupción. La erupción dental es el movimiento continuo del brote dental, desde la región inferior del hueso alveolar hasta aparecer en la cavidad bucal, y finalmente alcanzar el plano de oclusión (Liversidge et al. 1993). Por lo tanto, el término adecuado para referirse a la aparición de la pieza dental en la cavidad bucal es el de emergencia (Agostini et al., 2001). Para evaluar el grado de desarrollo dental alcanzado por el individuo analizado, con base a una de estas dos etapas, es necesario recurrir al examen clínico del paciente mediante una radiografía panorámica de la cavidad oral. Este tipo de examen es una de las pruebas recomendadas para estimar la edad de un presunto menor (Garamendi, 2011).

## TÉCNICAS DE RADIOLOGÍA ORAL

Se diferencian entre técnicas convencionales y especiales. Las primeras presentan los mismos aspectos técnicos de hace cien años: un tubo generador de rayos X (Tubo de Hittorf-Crookes), un medio material al que dirigir el haz de radiaciones y un receptor de imagen en el que recoger el mensaje fotónico (radiación remanente)

(Chimenos Küstner, 2005). Por el contrario, se llaman técnicas especiales las que cuentan con un ordenador para producir la imagen. En la última década, se introdujo la radiología digital y el uso del receptor de imagen, que no es película radiográfica, sino un dispositivo electrónico con mayor sensibilidad.

Las funciones de cada técnica varían mucho según el tipo de muestra y la información que queremos obtener (Whaites, 1992). Se suelen distinguir en: 1) técnicas radiográficas intraorales o intrabucales. La película se coloca dentro de la cavidad bucal. Los procedimientos conocidos son las radiografías periapicales o retroalveolares, las interproximales o de alea de mordida, y las oclusales. 2) Técnicas radiográficas extraorales o extrabucales: la película se coloca fuera de la cavidad oral. De ellas, la más conocida es la ortopantomografía o radiografía panorámica. Además, se incluyen la radiografía lateral de cráneo (cefalometría), la naso-mentón-placa (para senos maxilares y cavidad nasal), las proyecciones desenfocadas para ramas mandibulares, la proyección transcranial oblicua de la articulación temporomandibular y otras que incorporan nuevas tecnologías como la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM).

En la ortopantomografía (OPG), se consigue en una sola placa una visión completa de los dientes, de las estructuras óseas adyacentes, del periodonto (estructura formada por la encía, el ligamento periodontal, el hueso alveolar y el cemento) y de algunas estructuras faciales. Esta técnica reduce la dosis de radiación en un 90% con respecto a las radiografías periapicales. Sus principales desventajas son: la distorsión en determinadas zonas, la deformación y magnificación de la imagen. Sin embargo, mediante radiografía digital directa, que utiliza sensores electrónicos sensibles a los rayos X que son colocados de manera similar a la película común, y conectados a un ordenador, se puede crear una imagen que será visualizada inmediatamente en la pantalla y eventualmente procesada, respecto a sus características de densidad, brillo y contraste, para fines diagnósticos específicos o para mediciones (Chimenos Küstner 2005; Pandolfo y Mazziotti, 2013).

Una vez obtenida la imagen digital, se puede proceder a la visualización y optimización de la información mediante software específicos, desarrollados por los propios fabricantes de los sistemas de radiología digital (Kodak®);

programas comerciales de tratamiento genérico de la imagen digital (Adobe® Photoshop o Corel® Draw para Windows®) o softwares libres (GIMP o ImageJ) (Mol, 2000).

La OPG es la mejor opción para la evaluación del desarrollo dental de un individuo (Introna et al., 2008). El nivel de radiación de una radiografía panorámica (26  $\mu$ Sv) carece de cualquier tipo de riesgo asociado a su aplicación. Se puede estimar tanto la edad dental de un niño, ya que en ella es evidente el estado de maduración dental alcanzado por todos los dientes, como de un individuo del cual se quiera saber si ha cumplido la edad de responsabilidad criminal (18 años). Para este propósito es de gran utilidad el análisis de la madurez del tercer molar, único diente aún en desarrollo entre los 16 y 23 años, periodo en el cual el resto de los dientes se encuentra ya completamente formado (Black et al., 2010).

## MÉTODOS DENTALES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN NIÑOS

En este caso, es fundamental el análisis de la mineralización y de la erupción dental (Black et al., 2010). Con respecto a la erupción, en el momento del nacimiento, todos los dientes están ya preparados en la mandíbula y en el maxilar para su emergencia. Con aproximadamente 6 meses de edad, primero los incisivos superiores e inferiores deciduos, y luego los molares deciduos, empiezan a emerger. Este tipo de dentición (decidua, temporal o de leche), será completa cuando el individuo tenga aproximadamente 2,5 años y, cuando cumpla 4 años, todos los dientes deciduos estarán ya completamente formados. La dentición temporal y la permanente están separadas por un periodo de aproximadamente dos años. De hecho, los dientes permanentes están ya parcialmente formados en los individuos de entre 0 y 3 años, pero la emergencia de los primeros de ellos (primeros molares inferiores e incisivos) comienza más tarde, alrededor de los 6-8 años. En una segunda fase (a partir de 11-12 años), que dura aproximadamente 15 meses, emergen los caninos, premolares y segundos molares definitivos, de manera que hay un periodo de pausa aproximadamente de dos años entre la emergencia de los dos grupos de dientes permanentes (Black et al., 2010).

Los dos atlas de erupción y desarrollo dental más utilizados son los de Schour y Massler (1940 y modificado en 1941) y Ubelaker (1973 y modificado en 1976) (AlQahtani et al., 2014). Son muy similares y proporcionan dibujos esquemáticos de los dientes en 21 estadios de desarrollo, desde los 5 meses *in útero* hasta la edad adulta. Además, se dispone del método de AlQahtani et al. (2010) quienes elaboraron, a partir de un estudio retrospectivo, un atlas de erupción y desarrollo dental, con 31 estadios, comprendiendo edades desde las 30 semanas y hasta los 23 años y medio.

La erupción dental, cuando se utiliza de forma aislada, no es un buen indicador de edad por los siguientes motivos: 1) la variabilidad interindividual. Entre niños de la misma edad y mismo sexo, los patrones de erupción (erupción precoz o retardada) están influenciados por numerosos factores de carácter genético o ambiental (pérdida prematura del diente temporal, procesos infecciosos locales, dientes retenidos, etc.); 2) no sigue una secuencia continua, ya que una vez formada la dentición decidua (sobre los 24-30 meses), no se producen variaciones hasta los 6 años, cuando aparece el primer diente permanente, por lo que no es posible utilizar este indicador en un periodo comprendido entre los 2 años y medio y los 6 años de edad; 3) no es un método válido cuando se cuenta solamente con dientes aislados (Martín Cerrato, 2010). De todas formas, el análisis de la erupción es un método rápido, útil y económico para realizar un diagnóstico preliminar y orientativo de la edad.

La mineralización dental es la opción más precisa para estimar la edad (Anderson et al., 1976; Merwin y Harris, 1998). Es un proceso en el cual existen diferentes estadios de desarrollo y cada uno de ellos constituye una forma dentaria reconocible, desde el inicio de la calcificación hasta su forma madura final, y fácilmente observable en una radiografía panorámica. De acuerdo con los estadios de mineralización definidos, cada diente recibe un puntaje dependiendo del grado de maduración que presente. El puntaje, o la suma de los puntajes, se convierten entonces en edad dental (Black et al., 2010).

El error de estimación aumenta después de los diez años y se incrementan después de los 14 años, cuando todos los dientes se encuentran a punto de terminar su cierre apical, que se puede considerar completo con 16 o 17 años según se trate de una chica o de un chico (Braga et al., 2005; Teivens et al. 2001). Por esta razón, la

mayoría de los métodos para estimar la edad en niños y adolescentes, excepto alguno, no incluye los terceros molares. De ellos (Gleiser y Hunt, 1955; Nolla, 1960; Haavikko, 1974; Liliequist y Lundberg, 1971; Demirjian et al., 1973; Gustafson y Koch, 1974; Nortje, 1983; Harris y Nortje, 1984; Kullman et al., 1992; Köhler et al., 1994), el más usado en los contextos forenses es el de Demirjian et al. (1973) que ha mostrado algunas ventajas y desventajas que aún generan controversias entre los expertos.

### MÉTODO DE DEMIRJIAN PARA EVALUAR LA MINERALIZACIÓN DENTAL

Demirjian et al. (1973) describieron ocho diferentes estadios, definidos por cambios morfológicos de la corona y de la raíz. La muestra original se componía de 2928 radiografías panorámicas (1446 niños y 1482 niñas) de individuos de origen franco-canadiense (padres y abuelos franco-canadienses) que no presentaban desorden del crecimiento, con dentición mandibular completa (emergida o no), y de edad comprendida entre 2 y 20 años. Para estimar la edad cronológica, los autores aplicaron una escala de maduración basada en el método de Tanner et al. (1975), obteniendo por cada diente, y de acuerdo con el sexo, un valor para cada estadio.

El método consiste en evaluar todos los dientes permanentes mandibulares izquierdos (excluyendo el tercer molar). Cada diente se categoriza de la A, a la H, dependiendo de su estadio, para posteriormente asignarle el puntaje de maduración correspondiente. La suma de los puntajes de los 7 dientes entrega una puntuación de madurez dentaria en escala de 0 a 100, la cual puede ser convertida directamente en edad dentaria utilizando las tablas y curvas de percentiles que los autores desarrollaron. Con posterioridad, este mismo autor desarrolló actualizaciones del método original, proponiendo un sistema de valoración de cuatro dientes (ambos premolares y molares) con estándares distintos.

Se ha demostrado la validez del método para estimar la edad en niños, debido a su precisión y buena reproducibilidad (Al-Emran, 2008; Bagherpour et al., 2010; Chen et al., 2010; Liversidge et al., 2006; Willems et al., 2006). Sin embargo, se observa con frecuencia una sobrestimación de la edad en los niños más pequeños, y una subestimación en los niños más mayores. Se

ha evidenciado de hecho que la maduración dentaria se encuentra avanzada en comparación con el estándar original de Demirjian, lo que explica dicha sobrestimación, que oscila entre algunos años y varios meses de edad (Loevey y Goldbrg, 1999; Meinel, 2007; Nykänen et al., 1998). Otra variable para considerar es la estructura etaria de la muestra de referencia que influencia la estimación de la edad que, finalmente, termina reflejando los resultados de la edad obtenidos mediante el método original. Este fenómeno es conocido en inglés como *age mimicry* o imitación de la edad y tiene lugar cuando se utilizan muestras etarias inadecuadas, en las que hay un desequilibrio en el número de niños muy pequeños (6-7 años) y de niños ya casi adolescentes (14-15 años). Se produce así una “aproximación” de las medias hacia el centro de la muestra, donde hay más individuos, y por ende una sobrestimación de la edad en los individuos más pequeños y una subestimación de la edad en los individuos más mayores (Liversidge et al., 1999; Liversidge, 2012).

Con el propósito de crear un modelo estadístico que permitiera correlacionar de mejor manera el grado de maduración dental y la edad cronológica, se han desarrollado distintos modelos de regresión como modificaciones del método original de Demirjian, obteniendo los mejores resultados cuando se aplicaban modelos de regresión polinomial o cúbica (Chaillet et al., 2004). Sin embargo, se ha cuestionado la necesidad de realizar estas adaptaciones del método original. Según Liversidge (2012), por ejemplo, la curva etaria que describe el método de Demirjian es muy regular y corresponde a una sigmoidea; sin embargo, en una curva de maduración dentaria real, evidentemente muy irregular en su trayectoria, se puede encontrar un gran número de estadios que se desvían de la sigmoidea y producen diferencias significativas entre la edad dental y la edad cronológica. Por lo tanto, sería incorrecto interpretar esto como expresión de diferencias poblacionales ya que no reflejaría diferencias biológicas a nivel poblacional sino a nivel de uno o varios individuos. El autor concluye que el método de Demirjian sigue siendo la mejor herramienta para estimar la edad de niños y adolescentes, y probablemente, el más fácilmente aplicable en cualquier región del mundo. Sin embargo, lo considera inadecuado para comparar la maduración dentaria entre grupos étnicos, particularmente si estos corresponden a



muestras de tamaño muy pequeño o con una distribución desigual de los rangos de edad.

En relación con los métodos cuantitativos, Cameriere et al. (2006a) desarrollaron un modelo de regresión lineal para calcular la edad en niños mediante las medidas lineales en una OPG de los ápices abiertos y de la altura de los dientes permanentes en formación. El método ha sido validado en distintas poblaciones mostrando así un alto grado de reproducibilidad (Galić et al., 2017) y mayor precisión que el de Demirjian (Nair et al., 2018).

## EL TERCER MOLAR EN LA ESTIMACIÓN DE LA MAYORÍA DE EDAD

Cada vez son más frecuentes las solicitudes de exámenes médicos para estimar la edad de menores indocumentados que o carecen de documentación fiable en la que conste la fecha de nacimiento o la ocultan con el fin de obtener los beneficios que se contemplan para el menor de edad en las legislaciones de los países desarrollados. Por lo tanto, la estimación de la edad es vital para defender los derechos de los menores, reconocidos por los distintos convenios y tratados internacionales, cuando éstos se ven sometidos a la acción de la justicia o simplemente solicitan asilo en otro país. En todas estas situaciones, la estimación de la edad debe ser fiable, precisa y estadísticamente sólida (EASO, 2018).

Después de la completa formación del segundo molar permanente, la estimación de la edad se complica a raíz de la variabilidad que presenta el tercer molar: elevado porcentaje de agenesia (9%), crecimiento irregular y emergencia variable, además de una secuencia de maduración más precoz en los hombres que en las mujeres, al contrario que en el resto de la dentición (Adler y Adler-Hradecky, 1962; Liversidge, 2008, 2010). Por otra parte, se ha observado que el tercer molar se desarrolla antes en el maxilar que en la mandíbula. Además, la extracción del tercer molar es una maniobra ampliamente realizada en todo el mundo debido a la ausencia de espacio en la arcada, y para la prevención de caries y enfermedades periodontales (Medina-Solis et al., 2014). Finalmente, es cada vez más frecuente la extracción de este diente por parte de las mafias del tráfico de menores para evitar identificaciones por parte de las autoridades (De Luca et al., 2014; EASO, 2018).

No es sorprendente, por tanto, que la correlación entre edad y maduración del tercer molar sea bastante compleja. Sin embargo, dado que no hay otros indicadores biológicos más fiables para este intervalo de tiempo, los terceros molares son utilizados, a menudo en combinación con otros indicadores óseos, para valorar la mayoría de edad (18 años).

En comparación con otros métodos diagnósticos, los que se usan para la estimación de la mayoría de edad deben reducir lo más posible el número de falsos positivos (los falsos mayores de edad) para así evitar clasificar erróneamente a un menor como mayor de edad. En el ámbito forense, esto se define como error ético mientras que la presencia de falsos negativos (falsos menores de 18 años) se considera como el resultado de un error técnico. El error ético es mucho más grave que el segundo ya que las consecuencias para el presunto menor declarado mayor de edad son muy dramáticas y suponen para él nuevas situaciones de abuso y violencia (EASO, 2018; Black et al., 2010; Garamendi, 2011).

La evaluación radiológica del grado de maduración del tercer molar se ha llevado a cabo mediante diferentes métodos (Acharya, 2011; Gleiser, Hunt, 1955; Kullman et al., 1992). Sin embargo, el método original de Demirjian et al. (1973), o sus variantes, como la desarrollada por Solari y Abramovitch (2002), han sido los más usados para este propósito.

Mincer et al. (1993) estimaron la edad dental de jóvenes y adultos usando el método de Demirjian exclusivamente para el tercer molar. Los autores concluyeron que la maduración radicular en el tercer molar (estadio H) es un valioso marcador de desarrollo que demuestra que el individuo tiene al menos 18 años. De hecho, gran parte de los estudios muestran que existe una probabilidad del 97% en mujeres y 96% en hombres que, al cerrarse los ápices (estadio H), el individuo haya cumplido los 18 años (Black et al., 2010).

Olze et al. (2010) analizaron, en radiografía panorámicas, el ligamento periodontal en los terceros molares mandibulares. Diferenciaron 4 estadios de visibilidad del ligamento (0-3): el estadio 0 aparece alrededor de los 17 años, el estadio 1 indicaría que el individuo ha alcanzado la mayoría de edad, mientras que los estadios 2 y 3 muestran más allá del dubio razonable que un individuo tiene más de 21 años. Sin embargo, la utilización aislada de estos criterios no permite obtener la precisión requerida en estos casos,

por lo que los autores recomiendan un examen radiológico adicional de la epífisis esternal de la clavícula.

Por el otro lado, se han intentado desarrollar también análisis cuantitativos del tercer molar. Por ejemplo, Cameriere et al. (2008) introdujeron un nuevo método basado en mediciones lineales del tercer molar: se evaluó la relación matemática entre la suma de las medidas de anchura de los ápices abiertos y la altura total del diente, desde los ápices hasta la cúspide más alta. El resultado final es un índice (I3M) que, con base a un punto de corte previamente establecido (0,08), puede ser mayor o igual a 0,08 o menor de 0,08 y permitir discriminar entre menores y mayores de edad. En efecto, en el primer caso, si  $I3M \geq 0,08$ , el individuo es menor de 18 años; de lo contrario, si  $I3M < 0,08$ , el individuo es mayor de 18 años. Este método, ya validado en numerosas poblaciones, es fiable, reproducible y estadísticamente sólido en discriminar los individuos menores de edad; resultado sumamente importante en ámbito forense, ya que evita que se considere erróneamente como mayor a un menor (error ético y técnico) (Santiago et al., 2017).

## ANÁLISIS RADIOGRÁFICO DE LAS VÉRTEBRAS CERVICALES

Lamparski (1972, 1975) desarrolló un sistema estandarizado para valorar, mediante seis estadios, los cambios morfológicos y la progresión de la fusión epifisaria de las vértebras cervicales (C2-C6) en un cefalograma, una técnica cuya dosis de radiación ionizante es efectivamente menor que la de una radiografía del carpo. En su desarrollo, las vértebras cervicales cambian su tamaño y forma, pasando de una forma trapecoidal a otra rectangular, y modificando su borde inferior y la relación entre altura y anchura del cuerpo.

En años posteriores, se propusieron modificaciones del método de Lamparski para simplificarlo y aumentar al mismo tiempo la eficacia diagnóstica (Altan et al., 2012; Wong et al., 2009). Pese a los resultados significativos en el proceso de estimación de la edad en menores (Szemraj et al., 2018), se valora su importancia sobre todo para planificar el tratamiento de ortodoncia más adecuado en pacientes clínicos. Además, se cuestiona aún su validez en ámbito forense debido especialmente a la variabilidad morfológica y de desarrollo de las vértebras

cervicales en comparación con los dientes y los huesos del carpo. Una ulterior desventaja de este método es que existe una superposición de los intervalos métricos de las vértebras en adultos y adolescentes. En un caso forense real en el que el objetivo no es distinguir entre adultos y adolescentes sino demostrar que un criminal que demuestra 16 años, pero declara tener 13, ha cumplido la edad de responsabilidad legal (18 años), el diagnóstico obtenido mediante este método dificultará la distinción entre individuos de 10 años y otros de 20. Sin embargo, no se debe descartar la posibilidad de que esta metodología, con evidentes desventajas respecto a otras, pueda ser utilizada en casos de diferente índole, por ejemplo, la estimación de la edad en esos países en donde los 10 años representan el umbral de responsabilidad penal (Australia, Cameriere, Costa de Marfil) (Black et al., 2010).

## ANÁLISIS RADIOGRÁFICO DE LA CLAVÍCULA

De acuerdo con las recomendaciones del AG-FAD, se han incrementado los análisis radiográficos convencionales, tomográficos y ecográficos de la extremidad esternal de la clavícula en individuos en torno a los 21 años (Black et al., 2010; Kreitner et al. 1998; Shirley, 2009).

La clavícula es el hueso largo que más tarde termina su periodo de maduración (después de los 18 años) (Black y Scheuer, 1996). Para su estudio es necesario realizar radiografías anteroposteriores y laterales de tórax. El método más recomendado para la cuantificación de los cambios en la osificación de la clavícula ha sido desarrollado por Schmeling et al. (2004): mediante una radiografía convencional o digital se registran los cambios en la fusión de la epífisis esternal de la clavícula (articulación esterno-clavicular) en una escala de 0 a 4 estadios. Este estudio concluyó que la edad mínima de fusión completa es de 20 años para mujeres y 21 para hombres. De acuerdo a los resultados, sólo existen variaciones entre lados en un 10% de la muestra por lo que los autores consideran que no existen diferencias significativas. Tampoco se observan diferencias debidas al sexo, a excepción del estadio 2 donde se aprecia un ligero adelanto en la maduración a favor del sexo femenino. Se recomienda que ante discrepancias entre lados se utilice el que menor grado de desarrollo presente con el fin de no sobrestimar la edad. Cameriere et al. (2012) observaron que, a pesar de su valor

como indicador de edad, este método mostraba un error inter-observador grande.

Debido a las controversias acerca de los riesgos asociados al uso de rayos X en presuntos menores de edad, se han aplicado alternativas válidas a los rayos X convencionales tales como la tomografía computarizada, la resonancia magnética o las técnicas ultrasonográficas (Houpert et al., 2016; Kellinghaus et al., 2010; Schultz et al., 2013). Cada técnica tiene ventajas e inconvenientes asociados, por lo que se debe averiguar qué metodología es más fiable y a la vez menos perjudicial para el individuo que se someta a estudios de edad en casos judiciales. Por ejemplo, la resonancia magnética no utiliza rayos X, pero su uso podría suponer otros problemas éticos. Para algunos individuos, especialmente aquellos con un historial de traumas psicológicos, la experiencia se puede complicar ya que el examen es ensordecedor y supone la introducción del cuerpo entero en un tubo muy angosto. En algunos países, el problema se ha podido solucionar mediante el uso de aparatos poco ruidosos y que no necesitan envolver el cuerpo entero (EASO, 2018).

## OTROS ANÁLISIS RADIOGRÁFICOS

Se ha demostrado que la fusión completa de la epífisis proximal del húmero, y del complejo formado por la epífisis distal del fémur y proximal de tibia y fibula, se produce alrededor de los 18 años en ambos sexos (Cameriere et al., 2012; Erol et al., 2016; Hackmann y Black, 2013). Sin embargo, excepto algunos estudios más recientes (Vieth et al., 2018), la epífisis proximal del húmero y la articulación de la rodilla no han sido objeto de una investigación fehaciente, como es el caso por ejemplo de los huesos del carpo de la mano izquierda o de los dientes. Por sí solas, estas metodologías carecen de fiabilidad y se esperan posteriores estudios al respecto. Mientras tanto, se recomienda utilizarlas en conjunto con otras, como por ejemplo el análisis del grado de maduración de los huesos del carpo de la mano izquierda. En Suecia, por ejemplo, se usa la RM de rodilla junto a una radiografía del tercer mo-

lar para la estimación de la edad en menores no acompañados (EASO, 2018).

## PERSPECTIVAS FUTURAS

La estimación de la edad en menores es un desafío de primer orden. La maduración del tercer molar es una de las pocas herramientas fiables cuando el desarrollo del individuo está finalizando, siempre y cuando se use en combinación con otras técnicas. Existe hoy en día un consenso general en considerar el método de Demirjian como el más fácil y preciso para la evaluación de la maduración del tercer molar, pero el I3M se ha convertido en una alternativa fiable y reproducible para discriminar entre individuos menores y mayores de 18 años (Cameriere et al., 2008; Santiago et al., 2017).

Si bien todos los métodos descritos son continuamente validados, es importante que, en los casos forenses, los resultados sean evaluados por un equipo de especialistas clínicos y forenses que, a la hora de proporcionar el dato final de la edad, evalúen el grupo étnico de procedencia, el estado socioeconómico, el estado de salud del individuo; y así determinen el efecto de cada uno de ellos en el resultado final de la estimación.

Por el otro lado, no existe todavía consenso sobre el uso combinado de varios métodos (metodología holística), ni sobre como cuantificar el error producido. Además, no existe ningún estudio que haya analizado en una sola muestra todos los métodos descritos. En Finlandia, se usa al mismo tiempo el análisis clínico dental y radiografías de carpo y cavidad oral (EASO, 2018). Este problema se presenta de momento sin solución, ya que el acceso a muestras de poblaciones complejas, como las africanas, por ejemplo, para fines científicos, no es nada fácil. Por lo tanto, actualmente, se están extrapolando los estándares estudiados en otras poblaciones (Europa, USA, Australia) teniendo en cuenta el margen de error que podría resultar al aplicarlos en casos forenses. El mayor desafío es establecer directrices consensuadas que permitan unificar los criterios diagnósticos y periciales para establecer programas de control de calidad.

## REFERENCIAS CITADAS

- Acharya A.B. 2011. Age estimation in Indians using Demirjian's 8-teeth method. *J Forensic Sci.* 56: 124-127.
- Adler P., Adler-Hradecky C. 1962. Eruption times of the upper and lower third molars. *Acta Genet Stat Med.* 12: 366-374.

- Agostini F.G., Flaitz C.M., Hicks M.J. 2001. Dental emergencies in a university-based pediatric dentistry postgraduate outpatient clinic: a retrospective study. *ASDC J Dent Child*. 68(5-6): 316-21.
- Aguado Bustos F. 2004. Hallazgos radiológicos Patológicos de estudios dentales, del carpo y de otras regiones anatómicas e interferencia con la estimación de la edad ósea en adolescentes. En: *Jornadas sobre determinación forense de la edad en menores indocumentados*. Donostia-San Sebastián: Instituto Vasco de Medicina Legal.
- Al-Emran S. 2008. Dental age assessment of 8.5 to 17 year-old Saudi children using Demirjian's method. *J Contemp Dent Pract*. 9: 64-71.
- AlQahtani S.J., Hector M.P., Liversidge H.M. 2010. Brief communication: The London atlas of human tooth development and eruption. *Am J Phys Anthropol*. 142(3): 481-490.
- AlQahtani S.J., Hector M.P., Liversidge H.M. 2014. Accuracy of Dental Age Estimation Charts: Schour and Massler, Ubelaker, and the London Atlas. *Am J Phys Anthropol* 154: 70-78.
- Altan M., Nebioğlu Dalci Ö., İseri H. 2012. Growth of the cervical vertebrae in girls from 8 to 17 years. A longitudinal study. *Eur J Orthod*. 34(3): 327-334.
- Anderson D.L., Thompson G.W., Popovich F. 1976. Age of attainment of mineralization stages of the permanent dentition. *J Forensic Sci*. 21: 191-200.
- Bagherpour A., Imanimoghaddam M., Bagherpour M.R., Einolghozati M. 2010. Dental age assessment among Iranian children aged 6-13 years using the Demirjian method. *Forensic Sci Int*. 197: 121-124.
- Barbería E., de Nova J. 2003. Maduración dentaria y determinación de la edad. En: *La determinación de la edad en detenidos jóvenes indocumentados. Problemática actual y protocolo de valoración médico-forense*. Comunidad de Madrid: Dirección General de Justicia. Conserjería de Justicia y Administraciones Públicas, pp. 311-29.
- Black S.M., Scheuer J.L. 1996. Age changes in the human clavicle: from the early neonatal period to skeletal maturity. *Int J Osteoarchaeol*. 6: 425-434.
- Black S., Aggrawal A., Payne James J. 2010. *Age Estimation in the Living: The Practitioner's Guide*. New Jersey: Wiley-Blackwell.
- Braga J., Heuze Y., Chabadel O., Sonan N.K., Gueramy A. 2005. Non-adult dental age assessment: correspondence analysis and linear regression versus Bayesian predictions. *Int J Legal Med*. 119: 260-274.
- Bueno G., Bueno O., Moreno L.A., García R., Tresaco B., Garagorri J.M. 2006. Diversity of metabolic syndrome risk factors in obese children and adolescents. *J Physiol Biochem*. 62 (2): 125-133.
- Cameriere R., Ferrante L., Cingolani M. 2006a. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *Int J Legal Med*. 120: 49-52.
- Cameriere R., Ferrante L., Mirtella D., Cingolani M. 2006b. Carpals and epiphyses of radius and ulna as age indicators. *Int J Legal Med*. 120(2006): 143-146.
- Cameriere R., Flores-Mir C. Mauricio F., Ferrante L. 2007. Effects of nutrition on timing of mineralization in teeth in a Peruvian sample by Cameriere and Demirjian methods. *Ann Hum Biol*. 2007 34(5): 547-556.
- Cameriere R., Ferrante L., De Angelis D., Scarpino F., Galli F. 2008. The comparison between measurement of open apices of third molars and Demirjian stages to test chronological age of over 18-year-olds in living subjects. *Int J Legal Med*. 122: 493-497.
- Cameriere R., De Luca S., De Angelis D., Merelli V., Giuliodori A., Cingolani M., Cattaneo C., Ferrante L. 2012. Reliability of Schmeling's stages of ossification of medial clavicular epiphyses and its validity to assess 18 years of age in living subjects. *Int J Legal Med*. 126(6): 923-932.
- Cameriere R., Cingolani M., Giuliodori A., De Luca S., Ferrante L. 2012. Radiographic analysis of epiphyseal fusion at knee joint to assess likelihood of having attained 18 years of age. *Int J Legal Med*. 126(6): 889-899.
- Cameron N. 1997. The assessment of maturation. *S African J Sci*. 93:18-23.
- Chaillet N., Willems G., Demirjian A. 2004. Dental maturity in Belgian children using Demirjian's method and polynomial functions: new standard curves for forensic and clinical use. *J Forensic Odontostomatol*. 22: 18-27

- Chen J.W., Guo J., Zhou J., Liu R.K., Chen T.T., Zou S.J. 2010. Assessment of dental maturity of western Chinese children using Demirjian's method. *Forensic Sci Int.* 197: 1-4.
- Choi J., Kim Y.C., Min S.J., Khil E.K. 2018. A simple method for bone age assessment: the capitolhamate planimetry. *Eur Radiol.* 28(6): 2299-2307.
- Chimenes Küstner E. 2005. *Radiología en Medicina bucal*. Barcelona: Masson, 224 páginas.
- Cole A.J.L., Webb L., Cole T.J. 1988. Bone age estimation: a comparison of methods. *Br J Radiol.* 61: 683-686.
- Cole T. 2000. Secular trends in growth. *Proc Nutr Soc* 59: 317-324.
- Crawley H. 2007. When is a child not a child? Asylum, age disputes and the process of age assessment. *Immigration Law Practitioners' Association*.
- Cruz-Landeira A., Linares-Argote J., Martínez-Rodríguez M., Rodríguez-Calvo M.S., Otero X.L., Concheiro L. 2010. Dental age estimation in Spanish and Venezuelan children. Comparison of Demirjian and Chaillet's scores. *Int J Legal Med.* 124(2): 105-112.
- Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc., 509 U.S. 579, 113 S.Ct. 2795 (1993).
- De Luca S., Biagi R., Begnoni G., Farronato G., Cingolani M., Merelli V., Ferrante L., Cameriere R. 2014. Accuracy of Cameriere's cut-off value for third molar in assessing 18 years of age. *Forensic Sci Int.* 235: 102 e1-e1026.
- Demirjian A., Goldstein H., Tanner J.M. 1973. A New System of Dental Age Assessment. *Ann Hum Biol.* 45(2): 211-227.
- Demirjian A., Goldstein H. 1976. New systems for dental maturity bases on seven and four teeth. *Ann Hum Biol.* 3(5): 411-421.
- Dundaroz M.R., Sarici S.M., Denli M., Aydin H.I., Kocaoglu M., Ozisik T. 2001. Bone age in children with nocturnal enuresis. *Int Urol Nephrol.* 32: 389-391.
- EASO. 2018. Practical Guide on age assessment. EASO Practical Guides Series. available from: <https://www.easo.europa.eu/sites/default/files/easo-practical-guide-on-age-assesment-v3-2018.pdf>
- Engelbreten L., Steffen K., Bahr R., Broderick C., Dvorak J., Janarv P.M., Johnson A., Leglise M., Mamisch T.C., McKay D., Micheli L., Schamasch P., Singh G.D., Stafford D.E., Steen H. 2011. The International Olympic Committee Consensus Statement on Age Determination in high level young athletes. *Br J Sports Med.* 44: 476-488.
- Erol O.B., Bayramoglu Z., Ertem F., Sharifov R., Yilmaz R., Yekeler E. 2016. Forensic Age Estimation According to Fusion of Proximal Humeral Epiphysis in 1367 Living Turkish Subjects' Radiographs; A Preliminary Study. *Austin J Forensic Sci Criminol.* 3(2): 1-4.
- Focardi M., Pinchi V., De Luca F., Norelli G.A. 2014. Age estimation for forensic purposes in Italy: ethical issues. *Int J Legal Med.* 128: 515-522.
- Freyschmidt J., Sternberg A., Brossmann J., Wiens J. 2001. *Koehler/Zimmer borderlands of normal and early pathological findings in skeletal radiography*. London: Thieme.
- Galić I., Pacifici A., Carbone D., Pacifici L., Jerončić A., Cameriere R. 2017. Age estimation by the Cameriere's normalized measurements (CNM) of the single permanent mandibular tooth on a panoramic radiograph. *Legal Med.* 26: 65-72.
- Garamendi P.M., Landa M.I., Ballesteros J., Solano M.A. 2005. Reliability of the methods applied to assess age minority in living subjects around 18 years old. A survey on a Moroccan origin population. *Forensic Sci Int.* 154(1): 3-12.
- Garamendi P.M. 2011. Conclusiones de la Jornada de Trabajo sobre Determinación Forense de la Edad de los Menores Extranjeros no acompañados. Documento de Consenso de Buenas Prácticas entre los Institutos de Medicina Legal de España. *Rev Esp Med Legal.* 37(1): 5-6.
- Garn S.M., Rohmann C.G., Blumenthal T., Silverman F.N. 1967. Ossification communalities of the hand and other body parts: their implication to skeletal assessment. *Am J Phys Anthropol.* 27: 75-82.

- Gilsanz V, Ratib O. 2005. Hand Bone Age. A Digital Atlas of Skeletal Maturity. Berlin: Springer, pp. 97.
- Geiser I., Hunt E. 1955. The permanent first molar: its calcification, eruption and decay. *Am J Phys Anthropol*, 13: 253-281.
- Gómez de Ferraris M.E., Campos A. 2002. Embriología dentaria. En: *Histología y embriología bucodental*. 2º ed. Madrid: Panamericana, pp. 86-107.
- Greulich W.W., Pyle S.I. 1950, 1959. *Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist*. Stanford University Press: Stanford, CA.
- Gustafson G., Koch G. 1974. Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odontol revy* 25: 297-306.
- Haavikko K. 1974. Tooth formation age estimated on a few selected teeth. A simple method for clinical use. *Proc Finn Dent Soc*. 70: 15-19.
- Hackman L., Black S. 2013. Age Estimation from Radiographic Images of the Knee. *J Forensic Sci*. 58(3): 732-737.
- Harris M.J., Nortje C.J. 1984. The mesial root of the third mandibular molar. A possible indicator of age. *J. Forensic Odontostomatol*. 2(2): 39-43.
- Houpert T., Rérolle C., Savall F., Telmon N., Saint-Martin P. 2016. Is a CT-scan of the medial clavicle epiphysis a good exam to attest to the 18-year threshold in forensic age estimation? *Forensic Sci Int*. 260: 103.e1-103.e3.
- Kellinghaus M., Schulz R., Vieth V., Schmidt S., Schmeling A. 2010. Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin slice multidetector computed tomography. *124(2)*: 149-154.
- Köhler S., Schmelzle R., Loitz C., Püschel K. 1994. Die Entwicklung des Weisheitszahnes als Kriterium der Lebensalterbestimmung. *Ann Anat*. 176: 339-345.
- Kreitner K.-F., Schweden F.J., Riepert T., Nafe B., Thelen M. 1998. Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol*. 8: 1116-1122.
- Kullman L., Johanson G., Akesson L. 1992. Root development of the lower third molar and its relation to chronological age. *Swed Dent J*. 16: 161-167.
- Introna F., Santoro V., De Donno A., Belviso M. 2008. Morphologic analysis of third-molar maturity by digital orthopantomographic assessment. *Am J Forensic Med Pathol*. 29(1): 55-61.
- Lamparski D.G. 1972. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae. Master of Science Thesis, University of Pittsburg, PA.
- Lamparski D.G. 1975. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae. *J Anat*. 1: 49-68.
- Liliequist B, Lundberg M. 1971. Skeletal and tooth development. *Acta Radiol* 11:97-112.
- Liversidge H.M., Dean M.C., Molleson T.I. 1993. Increasing human tooth length between birth and 5.4 years. *Am J Phys Anthropol*. 90: 307-313.
- Liversidge H.M., Herdeg B., Rösing F.W. 1998. Dental age estimation of non-adults. A review of methods and principles. In: Alt W.K., Rösing F.W., Teschler-Nicola M. (editores). *Dental Anthropology: Fundamentals, Limits and Prospects*. New York: Springer, pp. 419-442.
- Liversidge M., Speechly T., Hector M. 1999. Dental maturation in British children: are Demirjian's standards applicable? *Int J Paediatr Dent* 9: 263-269.
- Liversidge H., Chaillet N., Mörnstad H., Nyström M., Rowlings K., Taylor J., Willems G. 2006. Timing of Demirjian's tooth formation stages. *Ann Hum Biol* 33(4): 454-470.
- Liversidge H.M. 2008. Timing of third molar development. *Ann Hum Biol*. 35(3): 294-321.
- Liversidge H.M., Smith B.H., Maber M. 2010. Bias and accuracy of age estimation using developing teeth in 946 children. *Am J Phys Anthropol*. 143(4): 545-554.
- Liversidge H.M. 2012. The assessment and interpretation of Demirjian, Goldstein and Tanner's dental maturity. *Ann*

- Hum Biol 39(5): 412-31.
- Loevy H., Goldberg A. 1999. Shifts in tooth maturation patterns in non-French Canadian boys. *Int J Paediatr Dent.* 9 (2): 105-110.
- Martin D.D., Wit J.M., Hochberg Z., Sävedahl L., van Rijn R.R., Fricke O., Cameron N., Caliebe J., Hertel T., Kiepe D., Albertsson-Wikland K., Thodberg H.H., Binder G., Ranke M.B. 2011. The use of bone age in clinical practice - part 1. *Horm Res Paediatr.* 76: 1-9.
- Martín Cerrato A. 2010. Relación entre la edad dental y la edad cronológica. (Tesis para optar por el Grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Medicina. Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria).
- Medina-Solis C.E., Mendoza-Rodríguez M., Márquez-Rodríguez S., De la Rosa-Santillana R., Islas-Zarazua R., Navarrete-Hernández J.D.J., Maupomé G. 2014. Reasons Why Erupted Third Molars Are Extracted in a Public University in Mexico
- West Indian Med J.* 63(4): 354-358.
- Meinl A. 2007. The application of dental age estimation methods: comparative validity and problems in practical implementation. Department of Anthropology, University of Vienna, PhD Dissertation.
- Merwin D.R., Harris E.F. 1998. Sibling similarities in the tempo of human tooth mineralization. *Archives of Oral Biology* 43: 205-210.
- Mendoza A. 2005. Desarrollo y erupción dentaria. En: Boj JR. (editor) *Odontopediatria*. 2º ed. Barcelona: Masson, pp. 55-65.
- Mentzel H.J., Vogt S., Vilser C., Schwartz T., Eulenstein M., Böttcher J., Tsoref L., Kauf E., Kaiser W.A. 2005. Assessment of skeletal age using a new ultrasound method. *Rofo* 177(12): 1699-1705.
- Mincer H.H., Harris E.F., Berryman H.E. 1993. The ABFO study of third molar development and its use as an estimator of chronological age. *J Forensic Sci.* 38: 379-390.
- Mol A. 2000. Imaging methods in periodontology. *Periodontology* 34: 34-48.
- Nair V.V., Thomas S., Thomas J., Salim S.F., Thomas D., Thomas T. 2018. Comparison of Cameriere's and Demirjian's methods of age estimation among children in Kerala: a pilot study. *Clin Pract.* 13: 8(1): 991.
- Nykänen R., Espeland L., Kvaal S., Krogstad O. 1998. Validity of the Demirjian method for dental age estimation when applied to norwegian children. *Acta Odontol Scand* 56 (4): 238-244.
- Nolla C.M. 1960. The development of the permanent teeth. *J Dent Child.* 27: 254-266.
- OECD. 2008. *A Profile of Immigrant Populations in the 21st Century: Data from OECD Countries*. Paris: OECD.
- Nortje C.J. 1983. The permanent mandibular third molar. *J Forensic Odontostomatol.* 1: 27-31.
- Olze A., Solheim T., Schulz R., Kupfer M., Pfeiffer H., Schmeling A. 2010. Assessment of the radiographic visibility of the periodontal ligament in the lower third molars for the purpose of forensic age estimation in living individuals. *Int J Legal Med.* 124: 445-448.
- Pandolfo I., Mazziotti S. 2013. *Orthopantomography*. Milan: Springer, pp. 199.
- Parsons C.R., Skeldon R., Walmsley T.L., Winters L.A. 2005. Quantifying the international bilateral movements of migrants, Development Research Centre on Migration, Globalisation and Poverty (DRC), Working Paper, No. T13.
- Pradella F., Pinchi V., Focardi M., Grifoni R., Palandri M., Norelli G.A. 2017. The age estimation practice related to illegal unaccompanied minors immigration in Italy. *J Forensic Odontostomatol* 35(2): 141-148.
- Ritz-Timme S., Cattaneo C., Collins M.J., Waite E.R., Schütz H.W., Kaatsch H.J., Borrman H.I. 2000. Age estimation: the state of the art in relation to the specific demands of forensic practice. *Int J Legal Med* 113: 129-136.
- Rózyło-Kalinowska I., Kiworkowa-Raczowska E., Kalinowski P. 2008. Dental Age in Poland. *Forensic Sci Int.* 174: 207-216.

- Santiago B.M., Almeida L., Cavalcanti Y.W., Magno M.B., Maia L.C. 2017. Accuracy of the third molar maturity index in assessing the legal age of 18 years: a systematic review and meta-analysis. *Int J Legal Med.* 132(4): 1167-1184.
- Santos, C; Ferreira M., Alves F.C., Cunha M.E. 2011. Comparative study of Greulich and Pyle Atlas and Maturous 4.0 program for age estimation in a Portuguese sample. *Forensic Sci Int.* 212(1-3): 276.e1-7.
- Schmeling A., Olze A., Reisinger W., Geserick G. 2001. Age estimation of living people undergoing criminal proceedings. *Lancet* 358:89-90.
- Schmeling A., Schulz R., Reisinger W., Mühler M., Wernecke K.D., Geserick G. 2004. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int J Legal Med.* 118(1): 5-8.
- Schmeling A., Olze A., Reisinger W., Geserick G. 2005. Forensic age estimation and ethnicity. *Legal Med.* 7: 134-137.
- Schmeling A., Reisinger W., Geserick G., Olze A. 2006. Age estimation of unaccompanied minors Part I. General considerations. *Forensic Sci Int.* 159S: S61-S64.
- Schmeling A., Grundmann C., Fuhrmann A., Kaatsch H.J., Knell B., Ramsthaler F., Reisinger W., Riepert T., Ritz-Timme S., Rösing F., Röttscher K., Geserick G. 2008. Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med.* 122(6): 457-460.
- Schmeling A., Garamendi P.M., Prieto J.L., Landa, M.I. 2011. Forensic age estimation in unaccompanied minors and young living adults. In: Duarte N.V. (editor) *Forensic medicine — From old problems to new challenges*. InTech, available from: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/19163.pdf>
- Schmeling A., Reinhard Dettmeyer M.A., Rudolf E., Vieth V., Geserick G. 2016. Forensic Age Estimation Methods, Certainty, and the Law. *Dtsch Arztebl Int.* 113(4): 44-50.
- Schour I., Massler M. 1940. Studies in tooth development: the growth pattern of human teeth, Part II. *J AM DENT ASSOC.* 27: 1918-1931.
- Schour, I. and Massler, M. 1941. The development of the human dentition. *J AM DENT ASSOC.* 28: 1153-1160.
- Schulz R., Schiborr M., Pfeiffer H., Schmidt S., Schmeling A. 2013. Sonographic assessment of the ossification of the medial clavicular epiphysis in 616 individuals. *Forensic Sci Med Pathol.* 9(3): 351-357.
- Seidel P., Kanies J. 2010. Identification of Unaccompanied and Separated Children: exploring age assessment challenges". En: *Expert Meeting Unaccompanied Minors: children crossing the external borders of the EU in search of protection*, Belgium.
- Seow W., Wan A. 2000. A controlled study of thiomorphometric changes in the primary dentition of pre-term, very-low-birth weight children. *J Dent Res* 79: 63-69.
- Shirley N.R. 2009. Age and sex estimation from the human clavicle: an investigation of traditional and novel methods. Thesis, University of Tennessee, Knoxville.
- Solari A.C., Abramovitch, K. 2002. The accuracy and precision of third molar development as an indicator of chronological age in Hispanics. *J Forensic Sci.* 47: 531-535.
- Szemraj A., Wojtaszek-Słomińska A., Racka-Pilszak B. 2018. Is the cervical vertebral maturation (CVM) method effective enough to replace the hand-wrist maturation (HWM) method in determining skeletal maturation? A systematic review. *Eur J Radiol.* 102: 125-128.
- Tancan, U. 2004. Relationship between dental and skeletal maturity in Turkish subjects. *Angle Orthod* 74(5): 657-664.
- Tanner J.M., Whitehouse R.H., Healy M.J.R. 1962. *A New System for Estimating Skeletal Maturity from the Hand and Wrist, with Standards Derived from a Study of 2,600 Healthy British Children*. Centre International de l'Enfance, Paris.
- Tanner J.M., Whitehouse R.H., Marshall W.A., Healy M.J.R., Goldstein H. 1975. *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method)*. London: Academic Press.
- Tanner J.M., Healy M.J.R., Goldstein H., Cameron N. 2001. *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult*



- Height (TW3 Method). London: W.B. Saunders.
- Teivens A., Mörnstad H. 2001. A modification of the Demirjian method for age estimation in children. *J Forensic Odontostomatol.* 19: 26–30.
- Theintz E., Howald H., Weiss U. 1993. Evidence for a reduction of growth potential in adolescent female gymnasts. *Journal Pediatr.* 122(2): 306-313.
- Thodberg H.H., Kreiborg S., Juul A., Pedersen K.D. 2009. The BoneXpert method for automated determination of skeletal maturity. *IEEE TRANS MED IMAGING.* 28(1): 52-66.
- Thomas A.M.K., Banerjee A.K. 2013. *The history of Radiology.* Oxford: Oxford University Press, 240 pp.
- Todd T.W. 1937. *Atlas of Skeletal Maturation.* C.V. Mosby, St Louis, MO.
- Unicef. 2010. *Age assessment practices: a literature review & annotated bibliography.*
- Vallejo-Bolaños E., España-López A.J., Muñoz-Hoyos A., Fernández-García J.M. 1999. The relationship between bone age, chronological age and dental age in children with isolated growth hormone deficiency. *Int J Paediatric Dent.* 9(3): 201-206.
- Vieth V., Schulz R., Heindel W., Pfeiffer H., Buerke B., Schmeling A., Ottow C. 2018. Forensic age assessment by 3.0T MRI of the knee: proposal of a new MRI classification of ossification stages. *Eur Radiol.* 28(8): 3255-3262.
- Whaites E., Drage N. 2003. *Essentials of dental radiography and radiology.* London: Churchill Livingstone, 5th ed., pp. 488.
- Willems G., Olmen A., Spiessens B., Carels C. 2001. Dental age estimation in Belgian children: Demirjian's technique revisited. *J Forensic Sci.* 46(4): 893–895.
- Wong R.W., Alkhal H.A., Rabie A.B. 2009. Use of cervical vertebral maturation to determine skeletal age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 136(4): 484.e1-6.
- Zhang A., Gertych A., Liu B.J. 2007. Automatic bone age assessment for young children from newborn to 7-year-old using carpal bones. *Comput Med Imag Graph.* 31: 299-310.

# 7

## Estimación de la Edad al Momento de la Muerte Usando el Extremo Esternal de la Cuarta Costilla de Individuos Masculinos Mexicanos

Jessica I. Cerezo-Román<sup>1</sup>

Palabras clave: ciencia forense, osteología, estimación de edad, extremo esternal de las costillas, población mexicana.

### RESUMEN

Los indicadores propuestos por İşcan et al. (1984) reflejan los cambios de edad que ocurren en el extremo esternal de la cuarta costilla. Estos indicadores se han utilizado para estimar la edad al momento de la muerte en muestras esqueléticas adultas. Sin embargo, İşcan et al. (1984) desarrollaron sus métodos usando una muestra forense de Florida (EE. UU.). En este capítulo se resumen el trabajo de Cerezo-Román y Hernández (2014); a su vez, se actualiza con estudios más recientes con el fin de probar la reproducibilidad de esos métodos. Se presenta cómo conducir el análisis óseo en las costillas y la evaluación de su precisión para las cuartas costillas, aplicados a una muestra de adultos masculinos de la Ciudad de México. Se encontró que el método desarrollado por İşcan et al. (1984) subestima la edad al momento de la muerte en la muestra mexicana.

### ABSTRACT

The indicators proposed by İşcan et al. 1984 reflect the age changes that occur at the sternal end of the fourth rib. These indicators have been used to estimate the age at death in adult skeletal samples. However, İşcan et al. developed their methods using a forensic sample only from Florida (USA). In

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Anthropology, University of Oklahoma.

this chapter, the work of Cerezo-Román and Hernández (2014) is summarized and updated with more recent studies. This is done to test the reproducibility of these methods among different populations. I present how to conduct the bone analysis on ribs and the evaluation of its accuracy for the fourth ribs in particular by applying it to a sample of male adults from the City of Mexico. I found that the method developed by İşcan et al. underestimates the age at death in the Mexican sample.

## INTRODUCCIÓN

Este capítulo se basa en la publicación de Cerezo-Román y Hernández (2014), donde sus resultados se comparan con investigaciones más recientes, se actualiza la discusión y se presenta de manera detallada como conducir el análisis osteológico de las costillas.

La estimación de la edad biológica al momento de la muerte es una de las partes más importantes del análisis de restos esqueléticos humanos modernos y antiguos. Para estimar la edad en adultos al momento de la muerte se utilizan con frecuencia múltiples indicadores que reflejan procesos estándar de deposición ósea, remodelación y reabsorción que ocurren a lo largo de la vida de los individuos; sin embargo, estos procesos se ven afectados e influenciados por numerosos factores genéticos, ambientales y culturales, entre otros. Para la selección de métodos apropiados para estimar la edad en diferentes poblaciones se deben tener en cuenta factores potenciales a influir en los procesos óseos que ocurren con la edad e informarse sobre los márgenes de error que pueden existir para cada muestra. Si hay diferencias estos resultados se deben de confirmar con estudios adicionales.

Los procesos de maduración esquelética proporcionan una base para estimar la edad de un esqueleto. En subadultos más jóvenes, la estimación de la edad generalmente se basa en la maduración ósea y dental. Sin embargo, puede haber variaciones sustanciales entre diferentes individuos, incluso aquellos que no sufren ninguna interrupción importante del crecimiento y / o episodios de estrés (Lampel et al., 1996, White y Folkens, 2005). Con los adultos, las estimaciones de la edad al momento de la muerte se derivan principalmente de la evaluación de los procesos degenerativos, generalmente, causados por el desgaste normal del cuerpo a lo largo del tiempo. Varios investigadores han observado y analizado estos cambios en muestras esqueléticas, y han desarrollado métodos de clasificación para estimar la edad al momento de la muerte específica para diferentes grupos (para un resumen y discusión de estos métodos y técnicas, véanse las referencias İşcan y Kennedy, 1989; Cox, 2000; White y

Folkens, 2005; Komar y Buikstra, 2008). Estos procesos degenerativos también reflejan la historia de vida de los individuos incluyendo procesos de crecimiento, desarrollo y predisposición genética. Igualmente, hay modificaciones epigenéticas que afectan el desarrollo y mantenimiento de la morfología esquelética (Gowland, 2015). La morfología esquelética es el resultado de eventos interrelacionados y acumulados a través de la vida de los individuos y sus generaciones previas (Agarwal, 2016; Gowland, 2015). Teniendo en cuenta esto, es posible que los cambios degenerativos difieran en el tiempo y la forma entre las diferentes poblaciones. Muchos investigadores abogan por la evaluación crítica de los métodos existentes, y en caso de que sea necesario la modificación de los métodos para estimar la edad al momento de la muerte entre diferentes poblaciones de manera más precisa (Saunders et al., 1992; Hens et al., 2008; Kimmerle et al., 2008; Fanton et al., 2010, Cerezo-Román y Hernández 2014). Estos tipos de estudios son muy útiles, ya que facilitan el proceso de ajustar los métodos existentes a poblaciones específicas y de adquirir una mayor comprensión de la variación humana.

La mayoría de los estándares utilizados para estimar la edad al momento de la muerte se desarrollaron con muestras de Estados Unidos, como la colección Terry en la Institución Smithsonian en Washington, DC; la colección Hamann-Todd en Cleveland, Ohio; e individuos de la Guerra de Corea, entre otros (Ubelaker, 2008). Estas colecciones están compuestas principalmente por estadounidenses con ancestros del norte de Europa y África; quienes tenían estilos de vida y herencias genéticas muy diferentes a los de las poblaciones latinoamericanas.

En México antes de 2014, no se había realizado ningún estudio para estimar la eficiencia de alguno de estos métodos. Cerezo-Román y Hernández (2014) publicaron en la revista *Forensic Science International* un estudio de la aplicabilidad de los métodos desarrollados para estimar la edad al momento de la muerte en adultos masculinos, utilizando el extremo distal de las costillas propuesto por İşcan et al. (1984, 1987) en una población mexicana moderna de la Ciudad de México. En este capítulo se resumen

los resultados de Cerezo-Román y Hernández (2014), y se comparan con investigaciones recientes para actualizar la información; además, se incluye de manera detallada como realizar el análisis de las costillas.

La placa torácica, incluido el extremo esternal de la costilla, es un área donde los cambios de edad han sido documentados a lo largo del tiempo por muchos investigadores utilizando tomografía computarizada multicorte y radiografías (e.g., Nishino, 1969, Semine, 1975; McCormick, 1980, McClormick y Stewart, 1988; Dedouit et al., 2008), análisis histológico (e.g., Sedlin et al., 1963; Epker et al., 1965; Frost, 1976; Mulhern, 2000; Kim et al., 2007; Pavón, 2010; García-Donas, 2016) y estudios osteológicos (e.g., Kerley, 1970; Ubelaker, 1978; İşcan et al., 1984, 1987; İşcan y Loth, 1986; Verzeletti et al., 2013; Merritt 2014; Haj Salem et al., 2014; Gocha et al., 2015; Merritt 2017; Muñoz 2018). Por ejemplo, McCornick y Stewart (1988) utilizando radiografías para analizar los cambios de edad en toda la placa torácica, sugirieron que las alteraciones que ocurrían en esta área incluían osificación progresiva en los cartílagos costales en el extremo de la costilla esternal. En un nivel de anatomía macroscópica, el extremo esternal de la costilla ha recibido la mayor atención en los estudios antropológicos para estimar la edad en función de las técnicas propuestas por İşcan et al. (1984, 1987) e İşcan y Loth (1986).

La técnica propuesta por İşcan et al. (1984, 1987) y İşcan y Loth (1986), que estima la edad al momento de la muerte se basa en procesos degenerativos y cambios que ocurren con la edad en el extremo esternal de la cuarta costilla. Los autores propusieron nueve fases de progresión degenerativa graduadas de cero a ocho (İşcan et al., 1984, 1987). Pusieron a prueba la precisión de esta técnica y encontraron que los cambios morfológicos que ocurren en el segmento de costillas óseas tienen relaciones estadísticas significativas con la edad al momento de la muerte. En estas pruebas, hubo un error interobservador mínimo y las asociaciones estimadas de las fases no se apartaron mucho (İşcan y Loth, 1986). İşcan et al. (1984, 1987) también mencionó que factores tales como actividad física, trabajo pesado, trastornos endocrinos, enfermedad pulmonar crónica, uso de drogas, diferencias sexuales, dieta y variaciones intercostales (Semine, 1975; Lichtenstein, 1975) pueden afectar los patrones normales de envejecimiento característicos de la costilla termina. También advirtieron

que la variación intercostal, la identificación positiva de la cuarta costilla y las diferencias entre los sexos fueron los factores más importantes a considerar al usar este método.

Otras investigaciones, como las de Dudar (1992) y Saunders et al. (1992), prueban la validez de las técnicas de İşcan et al. (1984, 1987) e İşcan y Loth (1986) y corroboraron la utilidad de esta técnica para estimar la edad al momento de la muerte. Sin embargo, Saunders et al. (1992) descubrieron que las edades generalmente se subestimaban y, a medida que aumentaba la edad, también aumentaban los sesgos e imprecisiones. Estudios recientes de Fanton et al. (2010) sugieren que los análisis donde utilizaban el extremo esternal de la costilla mostraban poca reproducibilidad debido a dificultades en la medición, imprecisión en la descripción de la profundidad de la cavidad y falta de consideración de la configuración de la fosa, el borde y la pared. Hartnett (2010) también probó la precisión de la estimación de la edad al momento de la muerte utilizando el extremo esternal de la cuarta costilla. Ella sugirió que existen diferencias significativas en las edades observadas *versus* las reales y que hay variación significativa interobservador; también, concluyó que las desviaciones más importantes del estudio original de İşcan et al. (1984, 1987) son la incorporación de la densidad y la calidad ósea, ya que desempeñan un papel más importante en la asignación de fases y las revisiones. Años después, Merritt (2014) reevaluó el estudio de Hartnett (2010) y concluyó que los resultados son comparables al método original de İşcan et al. (1984), con algunas mejoras para las personas mayores.

Otros investigadores (e.g., İşcan y Loth, 1986; İşcan et al., 1985; Cargill y Suchey, 1987; Rathbun, 1988 Haj Salem et al., 2014; Gocha et al., 2015; Muñoz et al., 2018; Verzeletti et al., 2013) han hallado diferencias en los cambios que se observan en el extremo esternal la cuarta costilla y de la edad al momento de la muerte entre individuos masculinos y femeninos, y entre diversas poblaciones. İşcan et al. (1987) aplicaron sus métodos a muestras de población “blanca” y “negra” de los Estados Unidos, y Loth (1993) en una población del Reino Unido, ambos estudios encontraron diferencias estadísticamente significativas entre muestras. Loth (1993) atribuyó esos hallazgos a las diferencias en la densidad ósea entre los dos grupos y sus historias biológicas particulares. Igualmente concluyó que los procesos de deterioro en el extremo esternal

ocurrirían más tardíamente en su muestra. Posteriormente, İşcan (1991) realizó otro estudio en individuos masculinos y femeninos “blancos” y “negros” para evaluar las discrepancias con la técnica. Descubrió que las características morfológicas que definían las fases estaban relacionadas con la edad. Además, encontró diferencias significativas en la tasa y el patrón de la metamorfosis por sexo y ancestría.

Yavuz e İşcan (1998) estudiaron una muestra de hombres y mujeres de Estambul con el fin de evaluar el método de İşcan et al. (1984, 1985). Encontraron que las fases propuestas por İşcan et al. (1984) presentan características morfológicas similares a su muestra; y llegaron a la conclusión de que esta técnica se puede aplicar con precisión a las poblaciones turcas. Más tarde, Oertlé y Steyn (2000) replicaron el estudio realizado por İşcan et al. (1986) usando una muestra de “negros sudafricanos” de la provincia de Gauteng; ellos concluyeron que las edades estimadas eran aceptables, pero que los indicadores no eran precisos; posteriormente ajustaron los criterios modificando las fases existentes y proponiendo nuevas fases. Meena et al. (2012, 2014) también probaron la precisión y la variación bilateral del método desarrollado por İşcan et al. (1984) en una muestra de hombres y mujeres indígenas de Lady Hardinge Medical College, Nueva Delhi, India; descubrieron que el promedio de la puntuación de fase de un individuo no era significativamente diferente en la costilla derecha o izquierda y concluyeron que el método se puede usar en poblaciones indias con poca variación. Años más tarde, Verzeletti (2013) desarrolló un modelo de componentes para la estimación de edad alternativa al método de İşcan et al. (1984); él encuentra que la mejor correlación entre la morfología de las costillas terminales y la edad de muerte, se obtuvo a través de la fórmula de regresión múltiple con dos variables (superficie articular y paredes anterior / posteriores):  $\text{Edad (años)} = 6.37 (S) + 5.33 (W) 17.15 \pm 3.3$ . Igualmente, Haj Salem et al. (2014) evalúan el método de İşcan et al. (1984) en una muestra de individuos masculinos en Túnez, África del norte; ellos encontraron que dicho método puede ser aplicable en la población tunecina con una buena correlación por edad que oscila por debajo de los 39 años. Asimismo, Gocha et al. (2015) evalúan varios métodos para la estimación de la edad al momento de la muerte, incluyendo el que propuso İşcan et al. (1984) en una muestra del sureste de Asia,

y encontraron tienen un mal rendimiento y no recomiendan su uso en individuos descendientes de las regiones del sureste de Asia. Actualmente, Muñoz et al. (2018) evalúan la estimación de la edad al momento de la muerte y sexamiento en poblaciones mexicanas; ellos encuentran que los cambios morfológicos resumidos por las fases del extremo esternal de la cuarta costilla se correlacionan con la edad conocida en esta muestra (Spearman's Rho,  $p = .000$ ) (Muñoz et al., 2018); sin embargo, encuentran que los intervalos de edad originales tienden a subestimar la edad al momento de la muerte y la inexactitud aumenta a medida que aumentan las fases; ellos proporcionan estadísticas descriptivas para la fase de costilla para hombres y mujeres, y nuevas estimaciones de la edad de muerte basado en el análisis de transición y se proporcionan estadísticas bayesianas para la muestra de individuos masculinos (Muñoz et al., 2018).

La mayoría de los estándares de envejecimiento solo estiman la edad al momento de la muerte hasta los 50 años. Sin embargo, usando el extremo esternal de las costillas, la edad se puede estimar en individuos mayores de 50 años (İşcan et al., 1984). El método también se ha aplicado a especímenes históricos, prehistóricos y homínidos (İşcan et al., 1984; Masset, 1990; Loth, 1993). Desafortunadamente, debido a su naturaleza frágil, esta porción de la costilla se preserva con poca frecuencia en muestras arqueológicas. También, se ha sugerido que las costillas más adecuadas para estimar la edad al momento de la muerte son las primeras cuatro y la última costilla (İşcan et al., 1984; İşcan y Loth, 1986; İşcan, 1991, 1989). Sin embargo, Yoder y Ubelaker (2001) probaron esta técnica en las segundas de los lados izquierdo y derecho hasta las novenas costillas; encontraron que las costillas izquierdas cuarta a novena no variaron significativamente de las otras costillas analizadas, sólo, la segunda costilla derecha se encontró que variaba significativamente de las otras cuatro costillas; ellos recomendaron el uso de una puntuación compuesta para asignar edades de una manera más precisa. De igual forma, Nikita (2013) también examinó las diferencias intercostales y de edad en la morfología del extremo de las costillas esternal de los esqueletos femeninos documentados de Spitalfields y St. Bride Church, Londres; la morfología de esta área se capturó utilizando un análisis morfométrico tridimensional y se empleó la manipulación estadística; ella encontró diferencias estadísticamente sig-

nificativas entre la cuarta y las otras costillas, con la excepción de la tercera costilla y además, descubrió que todas las características de las costillas variaban con la edad. Sin embargo, Nikita (2013) no encontró diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos de edad y no pudo utilizar ningún análisis de regresión discriminante o multilíneal basado en coordenadas digitalizadas, poniendo en duda la rigurosidad del método para estimar la edad utilizando el extremo esternal de las costillas. Por otro lado, Merritt (2017) evaluó cómo las variables del índice de masa corporal, la masa corporal y la estatura, influyen en la inexactitud; y también, el sesgo existente en las estimaciones de edad esquelética de adultos obtenidas, utilizando varios métodos incluyendo el método propuesto por İşcan et al. (1984) con la cuarta costilla. Merritt (2017) encuentra que el bajo peso corporal, masa corporal ligera e individuos de baja estatura tienen el mayor error asociado con sus estimaciones de edad y son consistentemente menores de 3 años a 13 años. El índice de masa corporal obeso, la masa corporal pesada y las personas de estatura alta se superan constantemente entre 3 a 8.5 años. E igualmente encuentra que el método propuesto por İşcan et al. (1984) es el menos confiable para estimar la edad en individuos de cuerpo más pequeño.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Cerezo-Román y Hernández (2014) analizaron 71 hombres que tenían más de 16 años en el momento de la muerte. Todos los individuos en la muestra vivían en la Ciudad de México y eran ciudadanos mexicanos. La muestra comprende un total de 55 personas del Servicio Médico Forense (SEMEFO) y 16 personas del cementerio civil San Nicolás Tolentino, ubicado en la delegación Iztapalapa (tabla 1). Los criterios de

**Tabla 1.** Rangos de edad conocidos.

Rangos de edad	Individuos masculinos
21 - 30 años	14
31 - 40 años	12
41 - 50 años	15
51 - 60 años	7
61+	22
Total	70

Fuente: Datos de Cerezo-Román y Hernández (2014)

selección se centraron en los individuos adultos de sexo masculino mexicanos de edad conocida que no presentaban condiciones patológicas que alterarían los huesos.

La preparación de los elementos con tejido blando puede incluir varias horas de inmersión en un baño de agua caliente con partes iguales de detergente y carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Luego se puede extraer manualmente cualquier tejido adherido a los huesos con cuidado para no dañar el hueso. Luego los elementos se dejaban secar sin exponerlos al sol. La documentación fotográfica de los restos seleccionados y las características esqueléticas se deben tomar en diferentes momentos durante el examen.

Cerezo-Román y Hernández (2014) evaluaron los cambios en el extremo esternal de la cuarta costilla en función de las características morfológicas y métricas de la cavidad costondral, particularmente la profundidad, forma y configuraciones de pared y borde sin conocimiento previo de la edad conocida del individuo. Las mediciones y observaciones utilizadas en la investigación de Cerezo-Román y Hernández (2014) siguieron los procedimientos de İşcan et al. (1984) quienes dividieron estos datos en tres componentes, cada componente comprende una serie de etapas (tabla 2). La profundidad de la cavidad se midió con un calibre de profundidad, calibrado a 0.1 mm. El calibrador se mantuvo perpendicular a la base de la cavidad y se tomó la medida donde la distancia entre la base de la cavidad y la pared anterior o posterior adyacente fue la mayor. Las etapas del método son una progresión de cero a cinco, donde la etapa cero representa las costillas que acaban de completar los procesos de maduración y están completamente desarrolladas. La etapa uno representa el comienzo de los cambios degenerativos y las etapas posteriores representan cambios degenerativos crecientes (por ejemplo, los adultos jóvenes deben estar más cerca de las etapas 0 y 1, mientras que los adultos mayores deben estar en las etapas 4 o 5) (ver tabla 2).

## RESULTADOS

Los análisis estadísticos de Cerezo-Román y Hernández (2014) se realizaron con los programas de software SPSS 16.0 y Microsoft Excel 2007. Las evaluaciones analíticas incluyeron estadísticas descriptivas, análisis de varianza de una vía (AnovaNOVA de una vía) y análisis de sesgo e imprecisiones.

**Tabla 2.** componentes y fases.**Componente 1: profundidad de la cavidad**

0. Extremidad plana a levemente ondulada sin indentación (cavidad) < 1.1 mm.

1. Formación de la cavidad definida con una profundidad que va desde 1.1-2.5 mm.

2. Profundidad de la cavidad desde 2.6-4.5 mm.

3. Profundidad de la cavidad desde 4.6-7.0 mm.

4. Profundidad de la cavidad desde 7.1-10.0 mm.

5. Profundidad de la cavidad > 10.1 mm.

**Componente 2: Forma de la cavidad**

0. Juveniles y adolescentes sin formación de cavidad en la superficie articular plana o ondulada.

1. La cavidad comienza a presentarse con una forma dentada bastante superficial.

2. La cavidad asume una forma de V con paredes delgadas.

3. La cavidad asume una forma de U y las paredes se vuelven muy delgadas.

4. La cavidad asume una amplia forma de U con paredes muy finas.

5. La cavidad exhibe una amplia forma de U pero más profunda, con las paredes más frágiles, y con una textura deteriorada, y el hueso comienza a presentar en algunas áreas desintegración.

**Componente 3: Configuración del borde y las paredes**

0. El 0 se designa a aquel espécimen con un borde romo y regular, que no cuenta con paredes.

1. Las paredes comienzan a formarse, y el borde es romo y regular.

2. Las paredes son definitivamente visibles y el borde es delgado y romo, ligeramente ondulado u ondulado.

3. Esta fase es señala una etapa transitoria entre la fase 2 y la fase 4. Los bordes ondulados desaparecen, las paredes son delgadas y firmes, y la textura del hueso no presenta un deterioro significativo.

4. Aumenta la irregularidad del borde y se vuelve más filoso. En ocasiones este puede presentar proyecciones de hueso en los márgenes caudales y craneales. Las paredes se vuelven más delgadas y quebradizas mostrando en la textura del hueso un notable deterioro.

5. En ocasiones la profundidad de la cavidad aumenta y se forman orificios a manera de ventanas donde las paredes no están completas. El borde se vuelve muy filoso y quebradizo, y presentan una alta irregularidad de proyecciones de hueso. La textura del hueso se vuelve muy porosa y frágil.

Fuente: İşcan et al. 1984

La muestra presenta una media de edad de 49.58 y una desviación estándar (DE) de 18.807. Esta muestra presentó una leve curiosis hacia edades más avanzadas (tabla 3) (Cerezo-Román y Hernández, 2014). Para comprender mejor cómo se hicieron las relaciones entre los componentes y las diferentes etapas en las comparaciones de la muestra mexicana entre las edades medias conocidas y las etapas de cada componente (tabla 4), se compararon con análisis similares utilizando la cuarta costilla de la muestra más joven evaluada por İşcan et al. (1984) (Cerezo-Román y Hernández, 2014). La tabla 4 enumera las estadísticas descriptivas de los individuos masculinos en la muestra mexicana y de

İşcan et al. (1984). En la muestra mexicana de Cerezo-Román y Hernández (2014), los cambios asociados con el proceso de envejecimiento comenzaron a manifestarse en las costillas tres y cuatro, alrededor de una edad promedio de 44 años (tabla 4). Este resultado contrasta con los de İşcan et al. (1984), en el que los componentes y las etapas iniciales se presentan a una edad media de 20.3 años (tabla 4) (Cerezo-Román y Hernández, 2014). Cuando los datos de las medias para las cuartas costillas de la muestra mexicana se comparan con la edad media de İşcan et al. (1984), las medias de la muestra mexicana son mayores en todas las fases de los componentes (Cerezo-Román y Hernández, 2014).

**Tabla 3.** Estadísticas descriptivas de edad conocidas.

Edad cronológica real		
N	Válidos	71
	Faltantes	0
Media		49.58
Error estándar de media		2.232
Mediana		45.00
Moda		25a
Desviación estándar		18.807
Varianza		353.705
Asimetría		0.384
Error estándar de Asimetría		0.285
Curtois		-0.813
Error estándar de curtois		0.563
Rango		77
Mínimo		21
Máximo		98
Suma		3520
Múltiples modas existen. El menor valor se muestra		

Fuente: Datos de Cerezo-Román y Hernández (2014)

El segundo análisis estadístico de Cerezo-Román y Hernández (2014) fue un análisis de varianza de una vía (tabla 5). Este análisis describe la varianza en la profundidad del tajo (componente uno), la forma del tajo (componente dos), las configuraciones del borde y la pared (componente tres), y la dependencia de la varianza en la edad conocida con base a la comparación de los valores medios. El ANOVA no reveló una relación significativa entre la edad conocida y la profundidad de la cuarta costilla (tabla 5). La forma de la cavidad revela un nivel de 0.06, y por lo tanto, no hay significancia estadística entre la edad conocida y la forma de la cavidad (tabla 6). Sin embargo, las configuraciones de borde y pared (componente 3) tienen una relación significativa ( $p=0.01$ ) con la edad conocida (tabla 7) (Cerezo-Román y Hernández, 2014).

El análisis de Cerezo-Román y Hernández (2014) sobre el sesgo y la inexactitud (tabla 8) se realizaron siguiendo estudios como los de Hens et al. (2008), Saunders et al. (1992) y Santos (1996). Este tipo de análisis es bastante común en

estudios que prueban la inexactitud de métodos para estimar la edad al momento de la muerte (e.g., Gocha et al., 2015; Merritt, 2017; Muñoz et al., 2018). El sesgo es la predicción de exceso o defecto,  $\Sigma$  (estimación de edad conocida) /  $n$ , donde  $n$  = número de casos. La inexactitud es el error absoluto promedio de la estimación de la edad, sin referencia a la predicción excesiva o insuficiente,  $\Sigma$  | estimación de la edad conocida por la edad | /  $n$ . Las medias se estimaron como el punto medio de los rangos de la categoría de edad, excepto en la última categoría de extremo abierto donde se usaron 61. Los resultados del análisis de sesgo e inexactitud revelan que el grado de sesgo e inexactitud generalmente es mayor a medida que aumenta la edad (Cerezo-Román y Hernández, 2014). Hay un sesgo menor en la estimación de la edad hasta los 30 años. Hay una subestimación leve de la edad a un mayor grado después de los 40 años. Las estimaciones de la edad de los individuos de más de 60 años están subestimadas de manera dramática. El sesgo y la inexactitud se compararon luego con el extremo esternal del sesgo costal y la inexactitud del estudio de Saunders et al. (1992), Gocha (2015) y Muñoz et al. (2018) (tabla 14). Saunders et al. (1992) presentó una prueba a ciegas de cuatro métodos morfológicos de estimación de la edad adulta con una muestra de un cementerio pionero canadiense del siglo XIX. Entre los métodos que utilizaron está el extremo esternal de las costillas, y mencionan que la muestra varió de 27 a 49 individuos. Sin embargo, en su artículo, el número de muestra no se presenta y, por esta razón, no se incluyó en la tabla 8. Diferente para Saunders et al. (1992) la muestra del estudio de Cerezo-Román y Hernández (2014) presenta una estimación inferior o superior de las edades. Sin embargo, el sesgo fue menor en los grupos de 17-29 y 40-49 años, mientras que, en el estudio actual son ligeramente más altos. En el estudio de Saunders et al. (1992) hay un aumento del sesgo en categorías de edad mayores de 50 años y una subestimación de las edades en individuos mayores de 40 años, los cuales son hallazgos similares al estudio de Cerezo-Román y Hernández (2014). Gocha et al. (2015) realizó un estudio con una muestra de 88 individuos para evaluar diferentes técnicas que se utilizan para estimar la edad al momento de la muestra en poblaciones del sureste de Asia incluyendo la cuarta costilla. Un total de 44 de estos individuos eran masculinos. Gocha et al. (2015) también realizó un análisis del sesgo y la inexactitud. Sin



**Tabla 4.** Estadística descriptiva de cuarta costilla.

Componentes, Fases y Cuarta Costilla	SEMEFO y Tolentino		Iscan et al. (1984)	
	N	Edad Media	N	Edad Media
<b>Componente 1: Profundidad de la cavidad</b>				
0. Menos de 1,1 mm	-	-	-	-
1. 1,1 mm - 2,5 mm	6	44	24,44	20,3
2. 2,6 mm - 4,5 mm	32	47	17,44	30,7
3. 4,6 mm - 7,0 mm	16	55	17,71	40,9
4. 7,1 mm - 10,0 mm	-	-	-	15,39-
5. 10,1 mm o ≥	-	-	-	12,92
Total	54	49	18,51	37,9
<b>Componente 2: Forma de la cavidad</b>				
0. Sin formación de cavidad, superficie articular plana u ondulada	-	-	-	-
1. La cavidad comienza a presentarse con una forma dentada bastante superficial	4	38	14,52	4, 17,3
2. La cavidad asume una forma de V con paredes delgadas	12	40	19,62	15 22,8
3. La cavidad asume una forma de U y las paredes se vuelven muy delgadas	19	52	17,25	28 30,5
4. La cavidad asume una amplia forma de U con paredes muy finas	14	51	16,35	22 47,1
5. La cavidad exhibe una amplia forma de U pero más profunda, con las paredes más frágiles, y con una textura deteriorada, y el hueso comienza a mostrar algunas áreas de desintegración	5	64	19,04	15 61,6
Total	54	49	18,51	84 38,4
<b>Componente 3: Configuración del borde y las paredes</b>				
0. El 0 se designa a aquel espécimen con un borde romo y regular, que no cuenta con paredes	-	-	-	-
1. Las paredes comienzan a formarse, y el borde es romo y regular	3	38	18,93	5 17,8
2. Las paredes son definitivamente visibles y el borde es delgado y romo, ligeramente ondulado u ondulado	25	44	17,05	25 24,1
3. Esta fase señala una etapa transitoria entre la fase 2 y la fase 4.	11	46	16,15	20 34,3
4. Aumenta la irregularidad del borde y se vuelve más filoso. En ocasiones este puede presentar proyecciones de hueso en los márgenes caudales y craneales. Las paredes se vuelven más delgadas y quebradizas mostrando en la textura del hueso un notable deterioro	10	63	16,34	16 49,5
5. En ocasiones la profundidad de la cavidad aumenta y se forman orificios a manera de ventanas donde las paredes no están completas. El borde se vuelve muy filoso y quebradizo, y presentan una alta irregularidad de proyecciones de hueso. La textura del hueso se vuelve muy porosa y frágil.	5	62	17,92	16 58,2
Total	54	49	18,51	82 37,8

Fuente: Datos de Cerezo-Román y Hernández (2014)

**Tabla 5.** Edad conocida y componente 1 profundidad de la cavidad.**ANOVA**

<b>Edad cronológica real</b>					
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>df</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	1035.031	2	517.516	1.541	0.224
<b>Dentro de los grupos</b>	17130.302	51	335.888		
<b>Total</b>	18165.333	53			

Fuente: Datos de Cerezo-Román y Hernández (2014)

**Tabla 6.** Edad conocida y componente 2 forma de la cavidad.**ANOVA**

<b>Edad cronológica real</b>					
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>df</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	3010.428	4	752.607	2.433	0.06
<b>Dentro de los grupos</b>	15154.905	49	309.284		
<b>Total</b>	18165.333	53			

Fuente: Datos de Cerezo-Román y Hernández (2014)

**Tabla 7.** Edad conocida y componente 3 configuración del borde y paredes.**ANOVA**

<b>Edad cronológica real</b>					
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>df</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	4173.561	4	1043.39	3.654	0.011
<b>Dentro de los grupos</b>	13991.772	49	285.546		
<b>Total</b>	18165.333	53			

Fuente: Datos de Cerezo-Román y Hernández (2014)

embargo, en este estudio el sesgo fue menor en el grupo de 30 a 39 y de 20 a 29 años de edad. En el trabajo de Gocha et al. (2015) hay un aumento en los individuos mayores de 40 años y creciente subestimación de edad, similar al estudio de Cerezo-Román y Hernández (2014). Muñoz et al. (2018) realizó un estudio reciente, y reevalúa el método para estimar la edad usando la cuarta costilla en poblaciones mexicanas con una muestra de 504 individuos y 444 de ellos masculinos. Muñoz et al. (2018) hacen igualmente un análisis del sesgo y la inexactitud, pero las edades de los individuos están clasificadas usando las fases de İşcan et al. (1984) (ver **tabla 5** Muñoz et al., 2018 y **tabla 8** de este capítulo que presenta sus resultados). Los resultados de Muñoz et al. (2018) parcialmente son similares a los de Cerezo-Román y Hernández (2014), ya que hay subestimación general de la edad al momento de la muerte. Sin embargo, a diferencia de Cerezo-Román y Hernández (2014) en las edades más jóvenes Muñoz et al. (2018) obtuvieron muy leve o no subestimación.

zo-Román y Hernández (2014), ya que hay subestimación general de la edad al momento de la muerte. Sin embargo, a diferencia de Cerezo-Román y Hernández (2014) en las edades más jóvenes Muñoz et al. (2018) obtuvieron muy leve o no subestimación.

## DISCUSIÓN

En este capítulo se resume y actualiza el trabajo de Cerezo-Román y Hernández (2014) sobre los cambios de edad relacionados con el extremo esternal de la costilla y el método desarrollado por İşcan et al. (1984) con una muestra de individuos masculinos de México. Esto se hizo mediante la observación de la relación entre la edad conocida y los cambios morfológicos, en esta área a

través de estadísticas descriptivas y análisis estadístico de varianza de una vía (ANOVA de una vía). Usando el método propuesto por İşcan et al. (1984), también evaluamos el sesgo y la inexactitud entre las edades conocidas y las estimadas. Estos resultados se contrastaron con los estudios de Saunders et al. (1992), Gocha (2015) y Muñoz et al. (2018).

Los análisis de las estadísticas descriptivas para cada fase y componente, sugieren que a medida que las edades conocidas aumentan, las fases de cada componente también aumentan. Sin embargo, no hay una delimitación clara entre la edad conocida y los incrementos de los componentes (Cerezo-Román y Hernández, 2014). Además, cuando se comparan los resultados actuales con los de İşcan et al. (1984), los cambios de edad conocidos ocurrieron a edades más avanzadas en todas las fases y componentes. El incremento en las edades en el estudio de İşcan et al. (1984) también son más bajos que los resultados de Cerezo-Román y Hernández (2014). También en el estudio de İşcan et al. (1984) a las desviaciones estándar también son más ba-

jas. Oertlé y Steyn (2000) también realizaron un estudio similar en una muestra de Sudáfrica. Sin embargo, sus resultados fueron diferentes tanto de la investigación de Cerezo-Román y Hernández (2014) como de los resultados de İşcan et al. (1984). En su muestra, los cambios que ocurrieron con la edad ocurrieron a edades más tempranas. Yavuz et al. (1998) también observó que los procesos degenerativos fueron subestimados, particularmente antes de los 40 años. Gocha et al. (2015), usando una muestra del sureste de Asia realizó un estudio similar pero luego de evaluar sus resultados no recomiendan su uso en individuos que tengan descendencia del sureste de Asia, ya que las estimaciones fueron muy imprecisas. Los resultados de Muñoz et al. (2018) parcialmente son similares a los de Cerezo-Román y Hernández (2014) pero en las edades más jóvenes Muñoz et al. (2018) obtuvieron muy leve o no subestimación. Estas similitudes y diferencias no son sorprendentes ya que la muestras son de la misma descendencia y Muñoz et al. (2018) tienen una muestra mayor. La reevaluación de diversos métodos es muy necesaria

**Tabla 8.** Sesgos e imprecisiones estadísticas del extremo esternal de las cuartas costillas

Edad conocida Cerezo-Román y Hernández (2014)	N	Sesgos	Imprecisiones
21-30	14	-6.8	8.2
31-40	12	-11.5	12.6
41-50	15	-9.3	10.4
51-60	7	-8.7	12.2
60+	22	-12	18.7
<b>Saunders et al. (1992) extremo esternal de las costillas, edad conocida</b>			
17-29	-	0.8	5.0
30-39	-	11.1	11.1
40-49	-	-2.5	7.1
50-59	-	-9.1	9.1
60+	-	-15.5	16.6
<b>Gocha et al. (2015) tabla 5 Individuos masculinos</b>			
20-29	6	2.4	3.8
30-39	6	0.2	8.4
40-49	6	-9.5	9.5
50-59	5	-10.1	10.1
60-69	2	-30.6	30.6
70+	5	-29.0	29.0

Fuente: de İşcan et al. 1984

ya que fomentan un espíritu de integridad científica y se puede probar su utilidad, precisión y limitaciones.

El segundo análisis de Cerezo-Román y Hernández (2014) fue un análisis de varianza de una vía o ANOVA de un factor. Los resultados de este análisis estadístico revelaron que existía una relación estadísticamente significativa entre la edad conocida y la configuración del borde y la pared. Los resultados que Cerezo-Román y Hernández (2014) obtuvieron son diferentes de los informados por Işcan et al. (1984). Los resultados de Işcan et al. (1984) sugieren que todos los componentes tenían valores significativos; mientras, se encontró que las configuraciones de borde y pared eran las más dependientes de la edad en nuestra muestra. El análisis Anova de un factor reveló que existen diferencias entre edades conocidas y componentes de costillas (Cerezo-Román y Hernández, 2014).

El análisis de sesgo e inexactitud de Cerezo-Román y Hernández (2014) sugiere que las edades entre 21 y 30 presentan los sesgos e inexactitudes más bajos. Sin embargo, estos valores se desvían dramáticamente después de la edad de 31 años, y después de la edad de 60 años hay el mayor aumento (Cerezo-Román y Hernández, 2014). Se encontró que el método subestima las edades conocidas de las personas (Cerezo-Román y Hernández 2014). Cuando los resultados de sesgo e inexactitud se comparan con otros estudios, como el de Saunders et al. (1992) y Muñoz et al. (2018), se observó un patrón similar en las edades grupales después de los 40 años. En los estudios de Cerezo-Román y Hernández (2014), Muñoz et al. (2018) y en Saunders et al. (1992) hay una subestimación de las edades, particularmente cierto en individuos mayores de 50 años. La mayoría de los cambios observados en el extremo esternal de la costilla están relacionados con cambios degenerativos que son difíciles de interpretar y probablemente muestran variaciones relacionadas con el estilo de vida, el entorno y las actividades (Saunders et al., 1992; Hens et al., 2008). Por lo tanto, no es sorprendente el aumento de los sesgos de edad individuales y las imprecisiones asociadas con las estimaciones de edad pues la muestra de Işcan et al. (1984) es muy diferente. Igualmente, la morfología esquelética es un resultado de modificaciones epigenéticas, hormonas, factores metabólicos y eventos interrelacionados y acumulados a través de la vida de los individuos y sus generaciones (Taylor, 2013, Gowland, 2015,

Agarwal, 2016). Factores epigenéticos, hormonales, metabólicos y eventos acumulados, a través de la vida de los individuos y generaciones, es una de las futuras líneas de investigación que prometen proveer datos más específicos de cómo afectan los procesos de la edad a través del tiempo y como contribuyen a la variación entre poblaciones humanas.

El estudio de Cerezo-Román y Hernandez (2014) confirma las conclusiones de estudios previos que sugieren que hay variaciones entre las poblaciones de todo el mundo y los cambios en los restos humanos relacionados con la edad (Hens et al., 2008; Merritt, 2017; Schmitt et al., 2002). Teniendo esto en cuenta, es necesario seguir explorando la variación morfológica entre las poblaciones y los cambios diferenciales a través del tiempo que ocurren con la edad para estimar con mayor precisión la edad al momento de la muerte (Cerezo-Román y Hernández, 2014).

## CONCLUSIONES

La mayoría de las investigaciones sobre la estimación de edad al momento de la muerte utilizando material de esqueleto humano sugiere que los procesos degenerativos son buenos indicadores para las estimaciones de edad (Cerezo-Román y Hernández, 2014). Sin embargo, estos procesos pueden variar entre las poblaciones, dependiendo de factores tales como la afinidad biológica, y se relacionan con el crecimiento y el desarrollo; así como, las condiciones de vida y el estilo de vida, entre muchos otros. La mayoría de los indicadores y técnicas utilizados para determinar la edad al momento de la muerte por antropólogos físicos en los Estados Unidos se derivan de individuos que son genética y morfológicamente diferentes de las poblaciones mexicanas.

El objetivo de la investigación de Cerezo-Román y Hernández (2014) fue evaluar la precisión del método propuesto por Işcan et al. (1984) para estimar la edad al momento de la muerte utilizando el extremo esternal de la costilla en una muestra mexicana. En este capítulo se resumen los resultados; y además, se compararon con investigaciones más recientes. En el caso de la cuarta costilla, la forma de la cavidad y las configuraciones del borde y la pared tenían una relación significativa con la edad (Cerezo-Román y Hernández 2014). Los resultados sugieren que las edades fueron subestimadas; esto fue particularmente evidente en personas mayores de 40 años en el momento de la muerte. Dichos

patrones también fueron confirmados por Muñoz et al. (2018) con otros individuos masculinos mexicanos.

De dichos resultados, se desprende la necesidad de comprender las relaciones con los cambios de la edad a través del tiempo y la variación entre diferentes poblaciones es esencial para una determinación más precisa de la edad al momento de la muerte en individuos desconocidos.

Cerezo-Román y Hernández (2014) sugieren que los procesos degenerativos que ocurren con la edad en esta población mexicana ocurrieron más tarde que en otras poblaciones. Esperamos que estos estudios promuevan la evaluación de métodos para la estimación de la edad al momento de la muerte y una consideración más crítica de los factores que influyen en la variación humana.

## AGRADECIMIENTOS

La autora quiere agradecer al Dr. José Ramón Fernández Cáceres, Dr. Mirna Martínez García, Dr. Sergio Ubando López, Luis Pacheco, Roberto Medina, Daniel Trejo López, y Dr. Fabiola Gua-

dalupe Gutiérrez Sánchez del Servicio Médico Forense de la Ciudad de México por el acceso al material. También quisiera agradecer a Arturo Talavera por la oportunidad de estudiar la colección de San Nicolás Tolentino. Estamos en deuda con el Dr. James Lu (University of Arizona) por su asesoramiento estadístico. La Dra. Patricia Hernández (Escuela Nacional de Antropología e Historia), Dra. María Eugenia Peña (Escuela Nacional de Antropología e Historia), la Dra. Lourdes Márquez Morfin (Escuela Nacional de Antropología e Historia) y Aldo J. Martínez brindaron apoyo durante toda la investigación. Igualmente, la autora quiere agradecer al Dr. Thomas Fenn (Oklahoma University) y Megan Sheehan (College of Saint Benedict y Saint John's University) por su ayuda en la edición de artículos previos. Además, estamos muy agradecidos con el Dr. John McClelland (University of Arizona), el Prof. Wim Van Neer (Instituto Real Belga de Ciencias Naturales), Bruce Anderson (University of Arizona) y Jane Buikstra (Arizona State University) que ayudaron incommensurablemente con sus comentarios y apoyo. Todos los errores son responsabilidad de la autora.

## REFERENCIAS CITADAS

- Agarwal SC. 2016. Bone morphologies and histories: Life course approaches in bioarchaeology. *American Journal of Physical Anthropology* 159:130-149.
- Bennett KA. 1997. *A field guide for human skeletal identification*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Buikstra JE, and Ubelaker D. 1994. Standards for data collection from human skeletal remains: proceeding of a seminar at the Field Museum of Natural History organizado por Jonathan Haas. Fayetteville.
- Cargill CW, and Suchey JM. 1987. Value of the sternal rib end in the determination of age in unidentified bodies: American Academic of Forensic Sciences Program.
- Cerezo-Román, Jessica I. and Patricia Hernández Espinosa. 2014. Estimating age at death using the sternal end of the fourth ribs from Mexican males. *Forensic Science International* 236:196.e191-196e196.
- Cox M. 2000. Aging adults from the skeleton. In: Cox M, and Mays S, editors. *Human Osteology: En Archaeology and forensic science*. London: Greenwich Medical Media.
- F. Dedouit, S. Bindel, D. Gainza, A. Blanc, F. Joffre, D. Rougé, and N. Telmon, 2008.
- Application of the Iscan method to two- and three-dimensional imaging of the sternal end of the right fourth rib. *Journal of Forensic Sciences*. 53:288-295.
- DiGangi EA, Bethard JD, Kimmerle EH, and Konigsberg LW. 2009. New method for estimating age-at-death from the first rib. *American Journal of Physical Anthropology* 138:164-176.
- Dudar JC. 1992. An evaluation of intercostal variation in adult sternal rib ends. *Canadian Society of Forensic Sciences Program* 23:139.
- Epker B.N., M. Kelin, H. M. Frost, 1965. Magnitude and location of cortical bone loss in human rib with aging. *Clinical Orthopedics* 41:198-203.

- Fanton L, Gustin M-P, Paultre U, Schrag B, and Malicier D. 2010. Critical study of observation of the sternal end of the right 4th rib. *Journal of Forensic Science* 55(2):467-472.
- Frost H.M. 1976. Supracellular organization of bone turnover (remodeling) in large mammals and its parameters. *Proceedings of the First Workshop on Bone Morphometry, Ottawa*.
- García-Donas, Julieta G., Jeffrey Dyke, Robert R. Paine, Despoina Nathena and Elena F. Kranioti. 2016. Accuracy and sampling error of two age estimation techniques using rib histomorphometry on a modern sample. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 38:28-35.
- Gocha, Timothy P., Megan E. Ingvoldstad, Adam Kolatorowicz, Meghan-Tomasita J. Cosgriff-Hernandez and Paul W. Sciulli. 2015. Testing the applicability of six macroscopic skeletal aging techniques on a modern Southeast Asian sample. *Forensic Science International* 249:318.e311-318.e317.
- Gowland RL. 2015. Entangled lives: Implications of the developmental origins of health and disease hypothesis for bioarchaeology and the life course. *American Journal of Physical Anthropology* 158(4):530-540.
- Hartnett KM. 2010. Analysis of age-at-death estimation using data from a new, modern autopsy sample-part II: sternal end of the fourth rib. *Journal of Forensic Science* 55(5):1151-1156.
- Hens S.M., E. Rastelli, G. Belcastro 2008. Age estimation from the human os coxa: A test on a documented Italian collection. *Journal of Forensic Sciences* 53: 1040-1043.
- İşcan MY, editor. 1989. *Age markers in the human skeleton*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- İşcan MY. 1991. The aging process in the rib: an analysis of sex and race related morphological variation. *American Journal of Human Biology* 3:617-623.
- İşcan MY, and Kennedy KAR, editors. 1989. *Reconstruction of life from the skeleton*. New York: John & Sons, Inc.
- İşcan MY, Loth SR, and Wright RK. 1984. Metamorphosis at the sternal rib end: A new method to estimate age at death in white males. *American Journal of Physical Anthropology* 65(2):147-156.
- İşcan MY, Loth SR, and Wright RK. 1985. Age estimation from the rib by phase analysis: white female. *Journal of Forensic Sciences* 30:41-44.
- İşcan MY, Loth SR, and Wright RK. 1987. Biological variation in sternal extremity of the rib and its effect on age determination. *Journal of Forensic Sciences* 32(2):452-466.
- İşcan MY, and R. S. Loth 1986. Determination of age from sternal rib by the phase analysis in white females: A test of the phase method. *Journal of Forensic Sciences* 31:90-92.
- Kerley E. R. 1970. Estimation of skeletal age: After about age 30 years. In: Stewart, T. D., (Ed., *Personal identification in mass disasters*. National Museum of Natural History, Washington, DC, 57- 70.
- Kim Y.-S., D.-I. Kim, D.-K. Park, J.-H. Lee, N.-E. Chung, W.-T. Lee, S.-H. Han, 2007. Assessment of histomorphological features of the sternal end of the fourth rib for age estimation in Koreans. *Journal of Forensic Sciences* 52: 1237-1242.
- Kimmerle E.H., D.A. Prince, G.E. Berg, 2008. Inter-observer variation in methodologies. Involving the pubic symphysis, sternal ribs, and teeth. *Journal of Forensic Sciences* 53: 594-600.
- Komar DA, and Buikstra JE. 2008. *Forensic anthropology contemporary theory and practice*. New York: Oxford University Press.
- Kunos CA, Simpson SW, Russell KF, and Hershkovitz I. 1999. First rib metamorphosis: Its possible utility for human age-at-death estimation. *American Journal of Physical Anthropology* 100:303-323.
- Lamp L, and Johnson ML. 1996. Problems in the aging of skeletal juveniles: Perspectives from maturation assessments of living children. *American Journal of Physical Anthropology* 101:345-355.
- Lichtenstein L. 1975. *Diseases of bone and joints*. C.V. Mosby, Saint Louis.
- Loth SR. 1993. Age assessment of the Spitalfields cemetery population based on rib phase analysis. *American Journal of Physical Anthropology* 16(Suppl.):135.

- Masset C. 1990. Ou en est la paléodémographie? Bulletin et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris 2:109-122.
- McCormick W.F. 1980. Mineralization of the costal cartilages as an indicator of age: Preliminary Observation. *Journal of Forensic Sciences*. 25:736-741.
- McCormick W. F., and J.H. Stewart, 1988. Age related changes in the human plastron: A roentgenographic and morphologic study. *Journal of Forensic Sciences* 33: 100-120.
- Meena M.C., Y. Rani, and M. Rani, 2012. Bilateral metamorphological variation at sternal end of fourth rib. *Eurasian Journal of Anthropology*, 3: 41-46.
- Merritt, Catherine E. 2014. A test of Hartnett's revisions to the pubic symphysis and fourth rib methods on a modern sample. *Journal of Forensic Sciences* 59(3):703-711.
- Merritt, Catherine E. 2017. Inaccuracy and bias in adult skeletal age estimation: Assessing the reliability of eight methods on individuals of varying body sizes. *Forensic Science International* 275:315.e311-315.e311.
- Mulhern D. M. 2000. Rib remodeling dynamics in a skeletal population from Kulubnarti, Nubia, *American Journal of Physical Anthropology* 111: 519-530.
- Muñoz, Alexandra, Nuvia Maestro, María Benito, José Antonio Sánchez, Nicholas Márquez-Grant, Daniel Trejo and Luis Ríos. 2018. Sex and age at death estimation from the sternal end of the fourth rib. Does İçsan's method really work? *Legal Medicine* 31:24-29.
- Nikita E. 2013. Quantitative assessment of the sternal rib end morphology and implications for its application in aging human remains. *Journal of Forensic Sciences* 58: 324-329.
- Nishino K. 1969. Studies on the human rib-cartilage. *Kekkaku* 44: 131 - 137.
- Oettlé AC, and Steyn M. 2000. Age estimation from sternal ends of ribs by phase analysis in south African blacks. *Journal of Forensic Sciences* 45(5):1071-1079.
- Pavón, Margarita Valencia, Andrea Cucina and Vera Tiesler. 2010. New formulas to estimate age at death in maya populations using histomorphological changes in the fourth human rib. *Journal of Forensic Sciences* 55(2):473-477.
- Rathbun TA. 1988. Heads or tails? Gender and age indicators of the cranial and infracranial skeleton. *American Academy of Forensic Sciences Program* 107.
- Rist E., L. Gally, and C. Trocme 1928. L'ossification des cartilages costaux dans l'espèce humaine. *Presse Medicale* 41:641-644.
- Santos A.L. 1996. How old is this pelvis? A comparison of age at death estimation using the auricular surface of the ilium and os pubis. *Aspects of African Archaeology: Papel presentado en 10th Congress of the Pan African Association for Prehistory and Related Studies*, 29-36.
- Saunders SR, Fitzgerald C, Dudar RC, and Mc Killop H. 1992. A test of several methods of skeletal age estimation using a documented archeological sample. *Canada Society of Forensic Sciences* 25:97-118.
- Schmitt A., P. Murail, E. Cunha, D. Rougé, 2002. Variability of the pattern of aging in the human skeleton: evidence from bone indicators and implication on age at death estimation. *Journal of Forensic Sciences* 47:1203-1209.
- Sedlin E.D., H.M. Frost, A.R. Villanueva 1963. Variation in cross-section area of rib cortex with Age. *Journal Gerontology*, 18: 9 - 13.
- Semine A.A., A. Damon 1975. Costochondral ossification and aging in five populations. *Human Biology* 47: 101 - 116.
- Taylor, Katherine Markham. 2013. The effects of alcohol and drug abuse on the sternal end of the fourth rib, The School of Anthropology, University of Arizona, Tucson.

- Ubelaker DH. 2008. Forensic anthropology: Methodology and diversity of applications. En: Katzenberg AM, and Saunders SR, editors. *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. 2nd ed. Hobeken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. p 41-69.
- Ubelaker D. H. 1978. *Human skeletal remains: Excavation, analysis, interpretation*. Smithsonian Institution, Taraxacum, Washington.
- White TD, and Folkens PA. 2005. *The human bone manual*. Burlington, MA: Elsevier-Academic Press.
- Verzeletti, Andrea, Mauro Terlisio and Francesco De Ferrari. 2013. Age-at-death estimation in Caucasian females from the morphological analysis of the sternal end of the fourth rib. *Legal Medicine* 15(1):47-49.
- Yavuz FM, Işcan YM, and Çöloğlu SA. 1998. Age assessment by rib phase analysis in Turks. *Forensic Science International* 98:47-54.
- Yoder C, and Ubelaker D. 2001. Examination of variation in sternal rib end morphology relevant to age assessment. *Journal of Forensic Science* 46(2):223-227.



# 8

## Utilidad de la Morfología Dental para Estimación de Ancestría.

Rebecca L. George<sup>1</sup>

Donovan M. Adams<sup>2</sup>

Palabras clave: morfología dental, ASUDAS, heredabilidad dental, desarrollo dental, estimación de ancestría.

### RESUMEN

El uso de la morfología dental en la estimación de ancestría para el campo forense, históricamente ha consistido únicamente en el análisis de algunos rasgos como el tubérculo Carabelli o diente en pala en conjunto con datos craneales. En las últimas dos décadas se ha visto un aumento dramático de desarrollos estadísticos y análisis exhaustivos de poblaciones contemporáneas, en un intento de explorar completamente el potencial de los rasgos morfológicos dentales en la antropología forense. Este capítulo revisa como la morfología dental evolucionó, parte de pocos rasgos hasta a los estándares de ASUDAS utilizados en la actualidad. La heredabilidad y desarrollo dental también se presentan como aspectos críticos que deben comprender los antropólogos forenses para entender la variación. El capítulo concluye con una revisión sobre la investigación actual y las expectativas que permitirán que la morfología dental se integre como una herramienta para la estimación de la ancestría forense.

### ABSTRACT

The use of dental morphology in forensic ancestry estimation has historically only consisted of using a few traits, like Carabelli's or shoveling, in conjunction with cranial data. Statistical developments and thorough analyses of modern populations have seen a dramatic increase over the last two decades in an attempt to fully explore the potential for dental morphological traits in forensic anthropology. This chapter reviews how dental morphology evolved from just a few traits to the ASUDAS

---

1 Instructor of Anthropology and Forensic Anthropology Facilities Curator Western Carolina University.

2 Assistant Professor, Department of Anthropology, University of Central Florida.

standards used today. Dental heritability and development are also presented as these are critical aspects for forensic anthropologists to understand so as to appreciate modern variation. The chapter concludes with a presentation on current research and future outlets that will allow dental morphology to be an integrated tool for forensic ancestry estimation.

## INTRODUCCIÓN

La morfología dental es el estudio y análisis de la forma y estructura de los dientes. (Scott y Turner, 2000: 2; Pilloud et al., 2016: 109). Aunque las características de los rasgos de la corona y la raíz se han utilizado ampliamente para examinar las relaciones biológicas en contextos paleoantropológicos y bioarqueológicos (Turner, 1987; Bailey, 2002; Ullinger et al., 2005; Sutter y Verano, 2007; Bailey et al., 2008; Hanihara, 2008; Gómez-Valdés, 2008; Martín-Torres et al., 2008; Pilloud y Larsen, 2011; Martín-Torres, 2012; Irish et al., 2013; Paul et al., 2013; Bailey et al., 2014; Irish, 2016; Prevedorou y Stojanowski, 2017; Irish, 2018), solo una pequeña selección de rasgos morfológicos dentales han sido utilizados en contextos de antropología forense (por ejemplo: el diente en pala, [figura 1](#); el tubérculo de Carabelli, [figura 2](#); o los patrones estructurales del esmalte como crenelaciones en molares).

Sin embargo, durante las dos últimas décadas en medida que se llevan a cabo investigaciones, se ha visto un incremento significativo en el potencial del uso de rasgos dentales para la estimación de la ancestría. El presente capítulo revisa la historia de la morfología dental en un contexto forense, explora por qué los dientes son útiles para las estimaciones de ancestría y resume las líneas de investigación actuales y futuras para este campo en desarrollo. La descripción y discusión de cada rasgo no se presentan en este capítulo, ya que esos temas se tratan de manera más extensa y apropiada en otros textos (i.e. Turner et al., 1991; Scott y Turner, 2000; Scott et al., 2016; Edgar, 2017; Scott y Irish, 2017; Scott et al., 2018a). Ver [figura 1](#) y [figura 2](#).



**Figura 1.** Diente en pala pronunciado en un incisivo lateral superior.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.** Tubérculo de Carabelli altamente expresado en un primer molar superior.

Fuente: Elaboración propia

## HISTORIA DE LA MORFOLOGÍA DENTAL PARA ESTIMACIÓN DE ANCESTRÍA EN ANTROPOLOGÍA FORENSE

La variación poblacional de los rasgos morfológicos dentales ha sido reconocida desde al menos a mediados del siglo XIX. La cúspide accesoria mesiolingual de los molares superiores (es decir, el Tubérculo de Carabelli) fue descrita por primera vez en las poblaciones europeas por Georg von Carabelli (von Carabelli, 1842). Así como, la descripción de Aleš Hrdlička (Hrdlička, 1920) sobre los incisivos en forma de pala, destacando la alta frecuencia de esta variante morfológica entre las poblaciones asiáticas y americanas nativas. Esas dos publicaciones fundamentales, establecen el escenario para futuras investigaciones sobre la variación morfológica dental. A partir de la década de 1940, se fueron definiendo otros rasgos morfológicos dentales adicionales y se exploró su variación poblacional por autores como Albert Dahlberg y P. O. Pedersen (Scott et al., 2018a). Si bien se continuó el avance y fue en aumento dentro de la subdisciplina de la antropología dental, tuvieron que pasar casi cinco

décadas para que se realizara una publicación trascendental que demostrara la utilidad de la morfología dental en estudios de antropología biológica. El Sistema de Antropología Dental de la Universidad Estatal de Arizona (ASUDAS) estandarizó 37 rasgos de corona y raíz (tabla 1) por Turner y colegas (Turner et al., 1991). El ASUDAS consiste en una compilación de rasgos definidos en investigaciones anteriores como las de Dahlberg, Pedersen y Hrdlička, así como los definidos por Turner y su estudiante G. Richard Scott (Turner et al., 1991). Este sistema no solo alterna características en una escala de presencia/ausencia, sino también da pauta para establecer nuevos rasgos y sus grados para clasificarlos con una la escala de puntuación (Turner et al., 1991: 13). Después de la publicación inicial de ASUDAS, se agregaron formalmente al sistema original dos rasgos adicionales: la cresta media del trigónido en molares (Wu y Turner, 1993) y la cresta accesoria del premolar superior (MxPAR) (Burnett et al., 2010). Ver tabla 1.

Los estándares de morfología para dientes deciduos fueron originalmente publicados por Kazuro Hanihara (Hanihara, 1961). Esos estándares se establecieron después de estudiar grupos estadounidenses con diferentes ancestrías (es de-

**Tabla 1.** Rasgos Morfológicos de Adultos en ASUDAS

Rasgos	Escala en dientes
Winging / Rotación de los incisivos	I <sup>1</sup>
Shoveling / Incisivo en pala	I <sup>1</sup> , I <sup>2</sup> , UC, I <sup>1</sup> , I <sup>2</sup>
Labial Convexity / Convexidad labial	I <sup>1</sup>
Double-Shoveling / Doble pala	I <sup>1</sup> , I <sup>2</sup> , UC, P <sup>3</sup> , I <sup>1</sup> , I <sup>2</sup>
Interruption Grooves / Surco de interrupción	I <sup>1</sup> , I <sup>2</sup>
Tuberculum Dentale / Tubérculo dental	I <sup>1</sup> , I <sup>2</sup> , UC
Canine Mesial Ridge / Borde mesial	UC
Canine Distal Accessory Ridge / Borde Distal Accesorio	UC, LC
Premolar Mesial and Distal Accessory Cusps / Cúspides accesorias mesiales y distales de los premolares	P <sup>3</sup> , P <sup>4</sup>
Distosagittal Ridge / Borde disto-sagital	P <sup>3</sup>
Metacone / Metacono	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Hypocone / Hipocono	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Upper Cusp 5 / Metacono o Cúspide 5	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Carabelli's Trait / Tubérculo de Carabelli	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Parastyle / Parastilo	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Enamel Extensions / Extensión del esmalte	P <sup>3</sup> , P <sup>4</sup> , M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Premolar Root Number / Número de raíces premolares	P <sup>3</sup> , P <sup>4</sup>
Upper Molar Root Number / Número de raíces molares	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Radical Number / Número de raíces	All teeth
Peg-Shaped Incisor / Diente en forma de clavija o estaca	I <sup>1</sup>
Peg-Shaped Molar / Diente en forma de clavija o estaca	M <sup>3</sup>
Odontome / Odontoma	P <sup>3</sup> , P <sup>4</sup> , P <sup>4</sup>
Congenital Absence / Ausencia congénita	I <sup>2</sup> , I <sup>1</sup> , P <sup>4</sup> , P <sup>4</sup> , M <sup>3</sup> , M <sup>3</sup>
Premolar Lingual Cusp Variation /	P <sup>3</sup> , P <sup>4</sup>
Anterior Fovea / Fovea anterior	M <sup>1</sup>
Groove Pattern / Patrón de surcos	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Cusp Number / Número de cúspides	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Deflecting Wrinkle / Arrugamiento (cresta) desviado	M <sup>1</sup>
Distal Trigonid Crest / Cresta trigónide distal	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Protostylid / Protostilido	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Lower Cusp 5 / Cúspide 5	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Cusp 6 / Cuspide 6	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Cusp 7 / Cúspide 7	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Canine Root Number / Número de raíces canino	LC
Tomes's Root / Raíz de Tomes	P <sup>3</sup>
Lower Molar Root Number / Número de raíces molares	M <sup>1</sup> , M <sup>2</sup> , M <sup>3</sup>
Torsomolar Angle / Ángulo torsomolar	M <sup>3</sup>

Dentro de esta tabla se integran los tipos de rasgos para llevar a cabo la práctica estándar en dientes permanentes. I = incisivo, C = canino, P = premolar, M = molar. Los números superíndices son para los dientes superiores y los números subíndices son para dientes inferiores.

Fuente: Turner et al., (1991)

cir, americanos-japoneses, americanos-blancos, afroamericanos, indios-americanos o amerindios y eskimales), los estándares se centran en varios rasgos de la corona: dientes en pala, el patrón coronal para los molares superiores, tubérculo de Carabelli, protostílido, cúspide 7, metacónido central, y la cresta trigonal distal (Hanihara, 1961). Sciulli (Sciulli, 1998) publicó diferentes estándares deciduos basados en su estudio de la dentición Americana Nativa. Estos son más similares a los estándares para adultos de Turner et al. (1991), pero incluyen rasgos adicionales como forma delta, dientes dobles, surco de la raíz, la vaina de la raíz, número de raíces en dientes anteriores y la proyección labial.

Lasker y Lee, (1957) son referencia clave de una de las primeras publicaciones para comprender la variación de los rasgos morfológicos entre los múltiples grupos y que pueden usarse para la estimación de ancestría forense. Los autores señalan que hay rasgos particulares que se presentan con mayor frecuencia en ciertas poblaciones, esto con base a la revisión de trabajos anteriores sobre morfología y dimensiones de dientes permanentes, así como de dientes deciduos. Las denticiones “mongoloides” muestran frecuencias más altas y mayor expresión de rasgos como dientes en pala, extensiones de esmalte, odontomas, taurodontismo, crenulaciones en molares, fusión de raíces de los molares superiores y raíces supernumerarias de los molares inferiores. Se describió a los europeos como los que tienen más alta frecuencia del tubérculo de Carabelli y reducción de la cúspide molar. Poco se mencionó con respecto a la variación dental de las poblaciones derivadas de África; sin embargo, en los grupos bosquimanos y khoikhoi (Hottentot) fueron descritas las crenulaciones molares y las bajas frecuencias de agenesia molar. Muchos de estos rasgos son utilizados todavía en la estimación de ancestría forense con frecuencias que siguen siendo válidas, incluyendo la reducida complejidad molar en los europeos, así como diente en pala y las extensiones de esmalte en las poblaciones asiáticas. A pesar de estas observaciones, los autores descartan la utilidad de cualquier metodología que se aproxime a la ancestría con fines forenses debido a la variación individual y a los límites biológicos indistintos; a pesar de que muchas poblaciones y su ancestría no habían sido investigadas cuando se publicó ese emblemático artículo. Como la estimación de la ancestría en casos forense se basa en rasgos fenotípicos que varían en términos de la an-

cestría biológica, existe una clara utilidad en la morfología dental para aproximar o estimar la ancestría de un individuo, como se explicará en la siguiente sección.

La siguiente publicación importante que explora el uso de la morfología dental para la estimación de la ancestría fue en Rhine (1990), en la cual se identificaron características del cráneo que se consideraron útiles en la estimación de la ancestría; entre estas variables morfológicas se encontraron diversos rasgos dentales. Para los grupos “americanos” o “caucásicos”, la presencia del tubérculo de Carabelli es uno de los rasgos dentales más notables. Para los individuos “afroamericanos” están presentes las crenulaciones molares; aunque los individuos “mongoloides del Suroeste” mostraron rasgos morfológicos dentales más complejos y característicos de este grupo como incisivos en pala, rotación de incisivos (forma de ala), extensiones de esmalte y las fosetas vestibulares (Rhine, 1990). Esta fue la última contribución importante para la estimación de la ancestría forense utilizando rasgos morfológicos dentales hasta el siglo XXI, previo a cuando los métodos estadísticos y observaciones sistemáticas que se convirtieron en la norma para realizar investigaciones dentro de esta disciplina.

## ¿POR QUÉ DIENTES?

### HEREDABILIDAD DE LA MORFOLOGÍA DENTAL

El esmalte es la superficie externa de los dientes, es el tejido de mayor dureza del cuerpo humano ya que está compuesto casi por completo de hidroxipatita (Avery y Chiego, 2006). La mayoría de los rasgos morfológicos son originados del esmalte exclusivamente (los odontomas y el tubérculo de Carabelli son notables excepciones) (Turner et al., 1991; Scott et al., 2018a), por lo tanto, es la capa dental que más interesa a los morfólogos. Una vez que el esmalte se forma en un diente, no se crea ningún esmalte adicional. Si bien el esmalte está sujeto a la destrucción por caries y desgaste durante la vida, se preserva extraordinariamente bien después de la muerte debido a que solo cuenta con un pequeño porcentaje de componente orgánico (aproximadamente el 4%) (Avery y Chiego, 2006).

El potencial de conservación es solo una de las razones por las que los dientes son ideales para los exámenes *postmortem*. Se entiende que la morfología dental es evolutivamente estable, lo que significa que las frecuencias de los rasgos reflejarán patrones ancestrales. La heredabilidad de los rasgos morfológicos dentales es compleja y la expresión de estos es *cuasi* continua, como lo han demostrado los múltiples estudios en gemelos (Townsend et al., 2009; Hughes y Townsend, 2013; Mizoguchi, 2013; Pilloud et al., 2016 Scott et al., 2018a). Así como los genes y los factores ambientales actúan sobre la expresión de rasgos, la heredabilidad difiere a través del tiempo y los entornos en los que el flujo de genes puede disminuir la heredabilidad. Por lo tanto, las heredabilidades son específicas de la población (Visscher et al., 2008; Scott et al., 2018a: 153; Stojanowski et al., 2018). A pesar de estas diferencias, los estudios a través de las poblaciones han encontrado tasas de heredabilidad moderadas para el tubérculo de Carabelli y altas tasas de heredabilidad para el diente en pala. Los estudios sobre pares de gemelos australianos han mostrado que las tasas de heredabilidad también son altas para el patrón de surco de la cúspide 5, cúspide 6 y cúspide 7 en molares permanentes y deciduos; así como, el hipocono en los primeros y segundos molares superiores permanentes (Higgins et al., 2009; Hughes y Townsend, 2013). Investigaciones recientes sobre una población arqueológica de Gullah mostraron tasas de heredabilidad bajas a moderadas para los rasgos en dientes anteriores (Stojanowski et al., 2018). Stojanowski y sus colegas también observan que, los mismos rasgos en la dentición superior tienen tasas de heredabilidad ligeramente más altas que en la inferior y que; existe una correlación significativa entre antímeros (es decir, dientes equivalentes en lados opuestos de la misma arcada dental; por ejemplo: los caninos izquierdos y derechos de la mandíbula son antímeros) y metámeros (es decir, el mismo tipo de diente en el mismo lado y de la misma arcada dental; por ejemplo: el primer, segundo y tercer molar del lado derecho de la mandíbula son metámeros), y bajas correlaciones entre los rasgos, lo que confirma la utilidad de un diente clave o el uso de un solo lado para el análisis en la práctica estándar de antropología dental (Scott, 1980).

Si bien los factores ambientales pueden explicar en sentido estricto los modelos de heredabilidad (Scott et al., 2018a), los genes como responsables del control de la expresión

de rasgos morfológicos dentales han sido relativamente difíciles de estudiar. Una de las pocas excepciones a esto, son los alelos del Receptor de Ectodisplina A o gen EDAR. EDAR codifica para muchos rasgos fenotípicos en poblaciones de origen asiático y poblaciones descendientes de asiáticos (Sabeti et al., 2007; Bryk et al., 2008), tales como aumento de los conductos mamarios, formación de glándulas ecrinas (Kamberov et al., 2013), grosor del cabello (Fujimoto et al., 2008), cabello lacio, forma del lóbulo de la oreja, tipo de mentón y particularmente importante para la morfología dental, dientes pala, doble pala y potencialmente la presencia de la cúspide 5 en el segundo molar superior (Kimura et al., 2009; Park et al., 2012; Peng et al., 2016)

También se han llevado a cabo investigaciones que exploran las relaciones entre los rasgos morfológicos dentales con los grupos sanguíneos y con otros rasgos genéticos. Los dientes en pala tienden a mostrar una relación inversa con la presencia de lactasa (ya que la tolerancia a la lactosa se encuentra generalmente en las poblaciones de Europa y descendencias europeas que tienen una baja presencia de dientes en pala), así como el tener una correlación positiva con un haplotipo del sistema sanguíneo Rhesus (Rh); aunque ambas correlaciones podrían estar relacionadas con el ambiente y no con la genética (Mizoguchi, 2013). El tubérculo de Carabelli altamente expresado es un rasgo que también está presente en poblaciones con un historial de producción de lácteos y en grupos de cazadores-recolectores que utilizaban potencialmente productos lácteos (Mizoguchi, 2013). Otro estudio reciente de bioarqueología tiene implicaciones para los estudios de ancestría forense mediante la morfología dental en el hemisferio occidental. Hlusko y sus colegas (2018) encontraron que un alelo (V370A) del gen EDAR y un alelo del grupo del grupo de genes de los ácidos grasos no saturados fueron seleccionados en Beringia del Último Máximo Glacial para asegurarse que los bebés recibieran más vitamina D de la leche materna. Dado que el diente en pala está parcialmente controlado por las variantes de EDAR, este estudio ayuda a explicar por qué este rasgo puede expresarse de forma dominante en las poblaciones de nativos americanos y poblaciones latinoamericanas (Edgar y Ousley, 2016) en lugar de, simplemente atribuir la prevalencia de diente en pala a la ancestría de grupos asiáticos (Scott y Turner, 2000; Scott et al., 2018a).

Además de los estudios de valores de heredabilidad, secuencias genéticas específicas y comparaciones de rasgos dentales con diversos rasgos genéticos, otros estudios han examinado la correspondencia entre los análisis morfológicos dentales y las relaciones biológicas conocidas. Se encontraron fuertes correlaciones entre el ADN y los rasgos morfológicos dentales tomadas del mismo individuo en una muestra de varios grupos étnicos en Kenia. Se revelaron relaciones similares utilizando ambos conjuntos de datos, lo que reforzó aún más la eficacia de la utilización de rasgos morfológicos para evaluar la relación de poblaciones (Hubbard et al., 2015).

## DESARROLLO DENTAL

El tamaño y la forma de los dientes se definen tempranamente durante el desarrollo, esto mediante una interacción compleja de la genética y los estímulos ambientales en las etapas de crecimiento y de la mineralización. La comprensión de estos procesos y los diversos modelos de desarrollo dental ayudan a interpretar las implicaciones taxonómicas y genéticas de estas variaciones. Los rasgos morfológicos utilizados para la estimación de la ancestría se usan con el supuesto básico de que reflejan las relaciones genéticas entre las poblaciones (Scott et al., 2018a). Consecuentemente es esencial que los antropólogos forenses entiendan cómo y cuándo se desarrollan estos rasgos (Hunter et al., 2010; Townsend et al., 2012). Se requieren pequeñas modificaciones durante el proceso de desarrollo para generar cambios dramáticos en la complejidad en tamaño y forma (Jernvall, 2000). La formación de los nudos del esmalte primario y secundario (en dientes con múltiples cúspides) durante las etapas de casquete y campana, respectivamente, señala el crecimiento y plegamiento del epitelio, lo que resulta en la forma final del diente (Zhao et al., 2000; Brook, 2009; Jernvall y Thesleff, 2012). Esencialmente, el tamaño y la forma de los dientes están controlados por dos factores principales: donde tiene lugar el nudo del esmalte y el sitio de inicio de la cúspide cuando ocurre esto (Jernvall y Thesleff, 2000: 12). Varios modelos han recibido una atención significativa durante las últimas décadas en estudios antropológicos de la dentición humana y son discutidos aquí (para descripciones más detalladas de estos modelos véase Butler, 1939; Osborn, 1978;

Hillson, 1992; Jernvall, 2000; Townsend et al., 2009; Evans et al., 2016; Scott et al., 2018a).

La teoría del campo morfogenético fundamenta que cada *campo dental* presenta un punto de mayor estabilidad (el diente *polar*) y a partir de este se da una variación creciente en tamaño y forma. Estos *campos dentales* fueron propuestos originalmente por Butler (1939) como regiones incisivas, caninas y molares. Esto fue posteriormente adaptado por Dahlberg (1945) incluyendo el *campo premolar* para la dentición humana. El diente más mesial es generalmente considerado como el diente polar; sin embargo, Dahlberg (1945) sugirió el incisivo lateral inferior como el diente *polar* del campo de los incisivos inferiores. Según este modelo, las células progenitoras comienzan a convertirse en cualquier tipo de diente con potencial de desarrollo; sin embargo, las acciones de los morfógenos, indican qué tipo de germen dental se formará. Los inicios del desarrollo de un campo particular ocurren en el diente *polar* y proceden de ese punto, lo que resulta en forma de la cúspide con una mayor variabilidad. Este modelo ha tenido un impacto significativo en los análisis antropológicos dentales, ya que los investigadores a menudo utilizan solo los dientes polares para las investigaciones de biodistancia utilizando características métricas y morfológicas (Scott y Turner, 2000; Pilloud et al., 2016). Además, el concepto de un diente clave se ha incorporado a los estudios morfológicos dentales donde, dientes particulares dentro de un campo exhiben la menor cantidad de variación en presencia y/o expresión del rasgo. Por lo tanto, en un intento por reducir la multicolinealidad, las frecuencias de expresión de rasgos se usan normalmente solo para estos dientes clave (Scott y Turner, 2000; Edgar, 2013; Scott y Irish, 2017).

La teoría de los clones sugiere que un solo tipo de célula actúa sobre un precursor para el desarrollo de cada diente. En contraste con la teoría de campo, en lugar de las células primordiales que tienen el potencial de convertirse en cualquier tipo de diente, estas células están programadas específicamente para convertirse en un cierto tipo de diente (es decir, incisivo, canino, premolar, molar) (Osborn, 1978). El desarrollo inicial del diente a partir de estas células estimula el desarrollo posterior de células mitóticas en división creando células clones en un número creciente. Estas divisiones incrementadas interrumpen la estabilidad del desarrollo dental, lo que resulta en una mayor variación en los dientes

que se desarrollan posteriormente. Para el campo molar esto incrementa la variación que ocurre en ambas direcciones mesial y distal con el desarrollo de premolares y molares permanentes a partir de células del molar progenitor (Osborn, 1978). Mientras estos modelos han sido tradicionalmente tratados como mutuamente excluyentes, la interacción de los genes *homebox* y la señalización de mecanismos del desarrollo dental han mostrado que esos modelos trabajan en tandem (Townsend et al., 2009).

Adicional a los modelos del desarrollo están el modelo de cascada de patrones (MCP) y el modelo de cascada inhibitoria (MCI). El MCP argumenta que, dado el espacio para la formación de cúspides, estrecho y/o un tamaño grande de gérmenes dentales se producirá un aumento en el número y tamaño de las cúspides (Jernvall, 2000; Jernvall y Jung, 2000). La formación del nudo del esmalte produce inhibidores que resultan en zonas de inhibición donde las células son incapaces de contribuir a la formación adicional del nudo secundario del esmalte, y en consecuencia a sitios de formación de nuevas cúspides. La activación de nuevos nudos del esmalte solo puede ocurrir fuera de esta zona de inhibición. Como resultado, las grandes zonas de inhibición reducen la cantidad de espacio disponible para el desarrollo de cúspides adicionales, mientras que las zonas de inhibición más pequeñas promueven dicho desarrollo (Jernvall, 2000; Jernvall y Jung, 2000; Jernvall y Thesleff, 2000: 19; Moorman et al., 2013). Kavanagh y sus colegas (2007) propusieron el MCI para describir los patrones de desarrollo y tamaño de los molares en ratones. De acuerdo con el MCI, los molares iniciados inhiben el desarrollo de cada molar que se forma posteriormente (de mesial a distal en la boca), lo que resulta en una disminución del tamaño de los molares (Kavanagh et al., 2007; Evans et al., 2016). Se ha argumentado que este modelo explica los patrones de gradientes de tamaño que se encuentran en los molares deciduos y permanentes de los homínidos (Kavanagh et al., 2007).

Las cúspides accesorias han sido motivo de la mayor cantidad de investigaciones sobre estos modelos de desarrollo. En particular, el tubérculo de Carabelli se ha utilizado para entender la relación entre la forma y el grado de expresión (Kondo y Townsend, 2006; Harris, 2007; Hunter et al., 2010; Moormann et al., 2013; Paul et al., 2017). Una evidencia significativa sugiere que espacios cercanos en el nudo del esmalte representan o exhiben distancias in-

tercuspídeas más pequeñas, particularmente la distancia entre los nudos del esmalte protocone y paracone, resultando así el tubérculo de Carabelli con mayores expresiones. (Hunter et al., 2010; Paul et al., 2017; Clark and Guatelli-Steinberg, 2018). Además, el MCP es eficaz para predecir la presencia y el tamaño de otras características de cúspides accesorias de los molares, incluidos el hipocono, cúspide 5, metacónulo y otras cúspides accesorias presentes en los humanos contemporáneos (Moormann et al., 2013) y, en chimpancés la cúspide 6 (Skinner y Gunz, 2010). También es posible que la correlación encontrada entre el tubérculo de Carabelli y la presencia de protostilido, se deba a la correlación de separación intercuspídea entre los isómeros (es decir, dientes equivalentes en arcadas dentales opuestas; por ejemplo: los primeros molares superiores y los inferiores son isómeros) dada dentro de una dentición (Scott, 1978; Moorman et al., 2013).

El momento de inicio del desarrollo del diente afecta el tamaño y la forma de este y la variabilidad presente en su morfología. El inicio del desarrollo temprano de las cúspides de la corona en la odontogénesis da como resultado una mayor expresión del rasgo (Hunter et al., 2010). Por ejemplo, un rasgo de formación temprana es el tubérculo Carabelli, con el plegamiento del epitelio que se produce aproximadamente al mismo tiempo que las cúspides primarias de los molares superiores, dará como resultado una expresión de cúspide más pronunciada (Hunter et al., 2010). Por otra parte, los dientes que experimentan mayores variaciones entre individuos y poblaciones son típicamente aquellos que se desarrollan más tarde que otros en la misma clase de dientes (es decir, dientes polares de la *Teoría de Campo*). Esto puede ser un artefacto de mayor exposición a estímulos externos que afectan la expresión de los genes y las vías de desarrollo (Brook, 1984). Kondo y sus colegas (2014) sugieren que la mayor variación morfológica del incisivo lateral superior que incluye disminución de tamaño, forma de clavija, forma de barril y ausencia congénita, refleja esta mayor susceptibilidad a los efectos ambientales.

## DIRECCIÓN DE LAS INVESTIGACIONES ACTUALES

En muchas discusiones sobre la utilización de la morfología dental para la estimación de la ancestría forense, surge la advertencia de que, si bien



se pueden conocer patrones morfológicos de ancestría, los componentes genéticos inherentes a la morfología dental significan que un individuo puede no poseer todas las características de la población a la que pertenece (Irish, 2015; Scott et al., 2016). Las metodologías estadísticas con intervalos de confianza o tasas de error que pueden aproximarse a qué tan similar es un individuo a los datos de referencia de las poblaciones conocidas, son necesarias para que la antropología dental pueda utilizarlas en las estimaciones de ancestría forense (Pilloud et al., 2016). Se han logrado algunos avances admirables hacia este objetivo, así como los esfuerzos continuos para comprender la variación dental humana contemporánea.

En 2017, se actualizaron los estándares de ASUDAS, agregando rasgos como el diastema en la línea media, hipocono bifurcado y variantes del incisivo lateral superior, y se redujo el número de cúspides del premolar inferior de nueve variantes a cuatro por la complejidad de definir las durante el análisis (Scott y Irish, 2017). Los estándares actualizados también incluyen fotografías de algunas de las variantes para cada rasgo, información del punto de ruptura y la variación geográfica (si se conoce), junto con bibliografías para cada rasgo. Se publicó un manual adicional ese mismo año como una actualización de ASUDAS (Edgar, 2017). El manual de Edgar se enfoca en el uso de ilustraciones para demostrar los rasgos de ASUDAS y dibujos de todas las variantes para los rasgos presentados. Este manual también incluye discusiones sobre la utilidad de la estadística para los análisis morfológicos dentales, tanto en los análisis a nivel individual, como los realizados para la estimación de ancestría forense (Edgar, 2017). Los diastemas se han definido más a fondo, para incluirlos no solo en los incisivos centrales superiores sino también los que se presentan en cualquiera de los lados de los caninos superiores o inferiores; los grados se basan en el tamaño de los espacios (Pilloud, 2018). También se ha definido recientemente el apiñamiento de dientes incisivos centrales y laterales con fines morfológicos (Pilloud, 2018). Si bien los datos a nivel de población aún no están disponibles para estos rasgos recién definidos, se encontró exitoso un estudio en el que se recabaron los datos de apiñamiento en la diferenciación de poblaciones modernas (Maier, 2017).

Otro nuevo rasgo que se definió recientemente fue la crenulación de molares (Pilloud et al., 2018). Este rasgo se ha referido históri-

camente como característico de la ancestría africana (Rhine, 1990), pero no se había definido o explorado previamente a nivel global. En las muestras analizadas por Pilloud y colegas (2018), se encontraron crenulaciones con frecuencias más altas en las muestras “afroamericanas” y sudafricanas Bantu, con frecuencias intermedias en la muestra “hispana”, y casi ausentes en la muestra de “blancos” estadounidenses y japoneses. Aquí se presenta una nota sobre el término “hispano”, el cual se reserva para citas donde es utilizado por los autores de cierto trabajo. Los autores actuales prefieren usar el término “latino” para describir a los individuos y grupos descendientes del mestizaje entre nativos americanos, europeos y africanos (Birkby et al., 2008), dada la región geográfica desde la que se originan estos individuos. Este término es más apropiado que “hispano” ya que es una clasificación lingüística que omite a los brasileños, pero incluiría a los españoles (Rodríguez, 2014).

Una de las principales contribuciones de las aplicaciones estadísticas a los datos morfológicos dentales radica en la exploración de conjuntos y datos globales. La **tabla 2** resume algunas de las aportaciones básicas a la estimación de la ancestría forense utilizando rasgos morfológicos dentales. Un artículo reciente de Scott y sus colegas (2018b) presentó rASUDAS, que consiste en una aplicación de Internet de libre acceso que se basa en un clasificador Bayesiano para estimar la ancestría regional de un individuo. Están integradas en esta aplicación veintidós características de la corona y la raíz de ASUDAS, las clasificaciones regionales se basan en la recopilación de datos de C. G. Turner II. Mientras los datos son principalmente de origen histórico o arqueológico, se están recopilando datos contemporáneos para aumentar las muestras actuales (Scott et al., 2018b; Pilloud, comunicación personal). El concepto de una aplicación en línea que puede proporcionar probabilidades de una muestra es una gran promesa para la utilización de datos morfológicos dentales en contextos forenses. Irish (2015) toma un enfoque más simplista para estimar la ancestría a partir de la morfología dental utilizando el mismo conjunto de datos global. La dentición de un individuo desconocido se califica para una selección de 10 rasgos dicotomizados ASUDAS y se estima que la población más cercana a la frecuencia es la ancestría de ese individuo (Irish, 2015). Este método ciertamente no cumple con los estándares para el trabajo antropológico forense, pero sí demuestra

**Tabla 2.** Estudios recientes que examinan la ancestría en antropología dental

Referencia	Muestra		Estadístico	Tasa de clasificación
	Ancestría	n		
Edgar (2005)	Americano Africano	110	Bayesiano	90%
	Americano Europeo	155	Regresión logística	
Lease y Sciulli (2005)	Americano Africano	117	Regresión logística	80.2-80.4% - solo morfológico
	Americano Europeo	100		90.1-92.6% - combinación de métrico y morfológico
Edgar (2013)	Americano Europeo	145	Discriminante lineal	66.7-89.3% - AA/EA vs. HNM/HFS
	Americano Africano	90		71.4-100.0% - EA vs. AA
	Hispano de Florida del Sur	191		46.2-72.7% - NMH vs. SFH
	Hispano de Nuevo México	83		
George (2015)	Hispano del suroeste	75	Regresión logística	75.9-89.7%
	Mexicano	90		
Irish (2015)	África del Norte / África Sub-Sahariana (Irish, 1993)	-796/733	Rasgos puntuados en función de la presencia o ausencia y en comparación con las frecuencias en las muestras proporcionadas. La frecuencia asociada para cada rasgo luego se suma y la población con el número más alto es la membresía estimada.	No disponible
	Oeste de Asia (Lipschultz, 1996)	291		
	Europa, Sureste de Asia, Sur de Suberia, China-Mongolia, Noreste de Siberia, Americano del Ártico, Nativos americanos del Norte y Sur, Australia, Melanesia, Polinesia (Scott y Turner, 1997). Micronesia (Scott y Turner, 1997; Irish, 2015)	Total n examinado no proporcionado; tablas de datos disponibles en Scott y Turner (1997) para n de cada rasgo.		
Scott et al. (2018)*	Americano del Ártico y nor-este de Siberia	10	Clasificación de Naïve Bayes	51.8 (siete grupos)-72.7% (tres grupos)
	Siberia	44		
	Nativos americanos	11		
	Este de Asia	24		
	Australo-Melanesia y Micronesia	31		
	África Sub-Sahariana	24		
	Eurasia occidental	22		

\* Scott y col. (2018) presentan su muestra de referencia como el número total de muestras (k) en lugar del número de individuos (n). Por lo tanto, los valores dados aquí son k.

Fuente: Scott y col. (2018)

cómo se pueden usar las frecuencias de rasgos dentales en la estimación de la ancestría.

Edgar (2005) presentó una serie de regresión logística y probabilidades Bayesianas para estimar la ancestría a partir de muestras de Europeos Americanos contemporáneos y Afroamericanos. En este estudio, se determinó que ocho rasgos morfológicos dentales se dicotomizan en los análisis y son estadísticamente diferentes entre dos grupos ancestrales. Las tablas proporcionadas establecen niveles de probabilidad de 85% o 90%, los cuales proporcionan opciones apropiadas para las estimaciones de ancestría forense (Edgar, 2005). Se agregaron muestras “hispanas” de Nuevo México y del sur de la Florida a las ecuaciones de regresión logística en Edgar (2013). Si bien las ecuaciones actualizadas no lograron distinguir entre las muestras “hispanas” hay algunos problemas conocidos con la presencia del hipocono que influye en los resultados (Pilloud et al., 2016; Adams et al., 2017), esta publicación al incluir datos adicionales de la población es un comienzo para que la morfología dental sea utilizada en contextos forenses. Algunos autores han estado trabajando con los Sistemas Adaptativos de Inferencia Neurodifusa (ANFIS), que es una aplicación estadística de lógica difusa en la composición fenotípica de un individuo que contribuye para estimar ancestría (Adams y George, 2018). Los resultados iniciales tuvieron mucho éxito en separar a los individuos asiáticos de los de ascendencia africana y europea, aunque fue difícil separar a los individuos africanos y europeos entre ellos. La inclusión de datos contemporáneos y la exploración de la variación casi continua de los rasgos morfológicos dentales probablemente mejorará la utilidad de esta estadística en particular.

Finalmente, se ha realizado algún trabajo sobre la utilidad forense de la dentición decidua, aunque el conocimiento de la distribución global de los rasgos morfológicos deciduos sigue siendo poco entendido. Lease y Sculli (2005) emplean datos métricos y morfológicos de muestras europeas y afroamericanas para estimar la ancestría utilizando ecuaciones de función discriminante. La retención de las variables más efectivas para diferenciar estas poblaciones entre sí, proporciona tasas de clasificación correctas por encima del 90% (Lease y Sculli, 2005). Es probable que exista un gran potencial de la dentición decidua para la estimación de la ancestría, ya que estos dientes son menos susceptibles a la influencia ambiental durante el desarrollo comparada con

la dentición permanente; lo que significa que pueden proporcionar información más precisa sobre las influencias genéticas en la morfología, aunque en general, es necesaria la investigación sobre la morfología de la dentición decidua (Scott et al., 2018a).

## CONCLUSIÓN

Como el campo de la estimación de la ancestría forense está empezando realmente, hay mucho más trabajo por realizar. Los investigadores que trabajan activamente con datos morfológicos dentales están logrando avances sustanciales para llevar los estándares de admisibilidad aceptables requeridos hacia las metodologías antropológicas forenses. Como el aprendizaje y la aplicación de la morfología dental en contextos forenses no son actualmente una práctica estándar, hay evidencia de un alto error inter-observador entre los antropólogos sin entrenamiento (Adams et al., 2017). Sin embargo, una vez que los antropólogos forenses son competentes, la morfología dental tiende a disminuir los valores de error inter-observador haciendo esto una fácil herramienta en los análisis esqueléticos (Irish, 2015). Por lo tanto, recomendamos ampliamente a cualquiera que desee realizar análisis morfológicos dentales o usarlos dentro de su propio trabajo, buscar capacitación de morfólogos experimentados. Continuamente están siendo estudiadas poblaciones globales adicionales para comprender mejor la variación dental humana contemporánea; parte de este trabajo incluye los estudios morfológicos dentales que incluyen o se enfocan en los “latinos” (por ejemplo, George, 2015; Tinoco, 2016; Maier, 2017; George y Stull, 2018).

La historia de esta población es tan rica de diversos grupos es tan rica necesita para entender este grupo de a medida que aumentan dentro de los Estados Unidos y los migrantes de probables orígenes latinos continúan pereciendo durante los cruces fronterizos. Los antropólogos forenses tienen que comprender la variación esquelética y dental presente en las poblaciones modernas para servir de manera efectiva al público y los datos morfológicos dentales se están convirtiendo rápidamente en una de las herramientas que pueden implementar en sus investigaciones.

Esta población de grupos diversos necesita ser entendida a medida que aumentan dentro de los Estados Unidos y los migrantes de origen

latino continúan pereciendo durante los cruces fronterizos. Los antropólogos forenses tienen que comprender la variación esquelética y dental presente en las poblaciones contemporáneas

para que efectivamente pueda servir al público y que los datos morfológicos dentales se conviertan rápidamente en una de las herramientas que se puedan implementar en sus investigaciones.

## REFERENCIAS CITADAS

- Adams, D. M., Pilloud, M. A., Edgar, H. J. H., & Hefner, J. T. (2017, February). Observer error and its impact on ancestry estimation using dental morphology. Paper presented at the 69th Annual Scientific Meeting of the American Academy of Forensic Sciences, New Orleans, LA. Abstract retrieved from <https://www.aafs.org/wp-content/uploads/2017Proceedings.pdf>.
- Adams, D. M., & George, R. L. (2018, February). Fuzzy Inference System (FIS) as a Novel Statistical Method for Forensic Ancestry Estimation. Paper presented at the 70th Annual Scientific Meeting of the American Academy of Forensic Sciences, Seattle, WA. Abstract retrieved from [https://www.aafs.org/wp-content/uploads/2018\\_Complete\\_Proceedings.pdf](https://www.aafs.org/wp-content/uploads/2018_Complete_Proceedings.pdf).
- Avery, J. K., & Chiego Jr., D. J. (2006). *Essentials of oral histology and embryology: A clinical approach* (3rd ed). St. Louis: Mosby.
- Bailey, S. E. (2002). A closer look at Neanderthal postcanine dental morphology: The mandibular dentition. *The Anatomical Record (New Anatomy)*, 269, 148-156.
- Bailey, S., Glantz, M., Weaver, T. D., & Viola, B. (2008). The affinity of the dental remains from Obi-Rakhmat Grotto, Uzbekistan. *Journal of Human Evolution*, 55, 238-248.
- Bailey, S. E., Benazzi, S., Soudary, C., Astorino, C., Paul, K., & Hublin, J.-J. (2014). Taxonomic differences in deciduous upper second molar crown outlines of *Homo sapiens*, *Homo neanderthalensis*, and *Homo erectus*. *Journal of Human Evolution*, 72, 1-9.
- Birkby, W. H., Fenton, T. W., & Anderson, B. E. (2008). Identifying Southwest Hispanics using nonmetric traits and the cultural profile. *Journal of Forensic Sciences*, 53, 29-33.
- Brook, A. H. (1984). A unifying aetiological explanation for anomalies of human tooth number and size. *Archives of Oral Biology*, 29, 373-378.
- Brook, A. H. (2009). Multilevel complex interactions between genetic, epigenetic and environmental factors in the aetiology of anomalies of dental development. *Archives of Oral Biology*, 54S, S3-S17.
- Bryk, J., Hardouin, E., Pugach, I., Hughes, D., Strotmann, R., Stoneking, M., & Myles, S. (2008). Positive selection in East Asians for an EDAR allele that enhances NF- $\kappa$ B activation. *PLoS One*, 3, e2209.
- Burnett, S. E., Hawkey, D. E., & Turner II, C. G. (2010). Brief communication: Population variation in human maxillary premolar accessory ridges (MxPAR). *American Journal of Physical Anthropology*, 141, 319-324.
- Butler, P. M. (1939). Studies of the mammalian dentition and differentiation of the post-canine dentition. *Proceedings of the Zoological Society of London*, B109, 1-36.
- Clark, M.A., & Guatelli-Steinberg, D. (2018). A third molar from Rathfarnham, Dublin, and the patterning cascade model. *International Journal of Osteoarchaeology*, 28, 727-734.
- Dahlberg, A. A. (1945). The changing dentition of man. *Journal of the American Dental Association*, 32, 676-690.
- Edgar, H. J. J. (2005). Prediction of race using characteristics of dental morphology. *Journal of Forensic Sciences*, 50, 1-5.
- Edgar, H. J. H. (2013). Estimation of ancestry using dental morphological characteristics. *Journal of Forensic Sciences*, 58, S3-S8.
- Edgar, H. J. H. (2017). *Dental morphology for anthropology: An illustrated manual*. New York: Routledge.
- Edgar, H. J. H., & Ousley, S. D. (2016). Dominance in dental morphological traits: Implications for biological distance studies. In: Pilloud, M. A., & Hefner, J. T. (Eds.), *Biological Distance Analysis: Forensic and Bioarchaeological Perspectives*. (pp. 317-322). Amsterdam: Academic Press.

- Evans, A. R., Daly, E. S., Catlett, K. K., Paul, K. S., King, S. J., Skinner, M. M., Nesse, H. P., Hublin, J.-J., Townsend, G. C., Schwartz, G. T., & Jernvall, J. (2016). A simple rule governs the evolution and development of hominin tooth size. *Nature*, 530, 477-480.
- Fujimoto, A., Ohashi, J., Nishida, N., Miyagawa, T., Morishita, Y., Tsunoda, T., et al. (2008). A replication study confirmed the EDAR gene to be a major contributor to population differentiation regarding head hair thickness in Asia. *Human Genetics*, 124, 179-185.
- George, R. (2015). Non-metric and metric dental assessment of ancestry in contemporary Mexican individuals: An aid to identifying undocumented border crossers (Unpublished Master's thesis). California State University, Chico, Chico, CA.
- George, R. L., & Stull, K. E. (2018, April). Dental variation in migrant samples. Paper presented at the 87th Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropologists, Austin, TX. Abstract retrieved from file:///C:/Users/grace/Downloads/2018\_AAPA\_Abstract\_Book\_-\_R3.pdf.
- Gómez-Valdés, J. A. (2008). *Antropología Dental en Poblaciones del Occidente de Mesoamérica*. Mexico City: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Hanihara, K. (1961). Criteria for classification of crown characters of the human deciduous dentition. *Journal of the Anthropological Society of Nippon*, 69, 27-45.
- Hanihara, T. (2008). Morphological variation of major human populations based on nonmetric dental traits. *American Journal of Physical Anthropology*, 136, 169-182.
- Harris, E. F. (2007). Carabelli's trait and tooth size of human maxillary first molars. *American Journal of Physical Anthropology*, 132, 238-246.
- Higgins, D., Hughes, T. E., James, H., Townsend, G. C. (2009). Strong genetic influence on hypocone expression of permanent maxillary molars in South Australian twins. *Dental Anthropology*, 22, 1-7.
- Hillson, S. (1992). Studies of growth in dental tissues. In: J. R. Lukacs (Ed.), *Culture, Ecology, and Dental Anthropology*. (pp. 7-23). Delhi: Journal of Human Ecology Special Issue, Kamla-Raj Enterprises.
- Hlusko, L. J., Carlson, J. P., Chaplin, G., Elias, S. A., Hoffecker, J. F., et al. (2018). Environmental selection during the last ice age on the mother-to-infant transmission of vitamin D and fatty acids through milk. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1711788115>.
- Hrdlička, A. (1920). Shovel-shaped teeth. *American Journal of Physical Anthropology*, 3, 429-465.
- Hubbard, A. R., Guatelli-Steinberg, D., & Irish, J. D. (2015). Do nuclear DNA and dental nonmetric data produce similar reconstructions of regional population history? An example from modern coastal Kenya. *American Journal of Physical Anthropology*, 157, 295-304.
- Hughes, T. E., & Townsend, G. C. (2013). Twin and family studies of human dental crown morphology: Genetic, epigenetic, and environmental determinants of the modern human dentition. In: Scott, G. R. & Irish, J. D. (Eds.), *Anthropological Perspectives on Tooth Morphology: Genetics, Evolution, Variation*. (pp. 31-68). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hunter, J. P., Guatelli-Steinberg, D., Weston, T. C., Durner, R., & Betsinger T. K. (2010). Model of tooth morphogenesis predicts Carabelli cusp expression, size, and symmetry in humans. *PLoS ONE*, 5, e11844.
- Irish, J. D. (1993). *Biological Affinities of Late Pleistocene Through Modern African Aboriginal Populations: The Dental Evidence*. [Ph.D. Dissertation]. Tempe, AZ: Arizona State University.
- Irish, J. D. (2015). Dental nonmetric variation around the world: Using key traits in populations to estimate ancestry in individuals. In: Berg, G. E., & Ta'ala, S. C. (Eds.), *Biological Affinity in Forensic Identification of Human Skeletal Remains: Beyond Black and White*. (pp. 165-190). Boca Raton: CRC Press.
- Irish, J. D. (2016). Who were they really? Model-free and model-bound dental nonmetric analyses to affirm documented population affiliations of seven South African "Bantu" samples. *American Journal of Physical Anthropology*, 159, 655-670.
- Irish, J. D., Guatelli-Steinberg, D., Legge, S. S., de Ruyter, D. J., & Berger, L. R. (2013). Dental morphology and the

- phylogenetic “place” of *Australopithecus sediba*. *Science*, 340, 1233062-1-1233062-4.
- Irish, J. D., Bailey, S. E., Guatelli-Steinberg, D., Delezene, L. K., & Berger, L. R. (2018). Ancient teeth, phenetic affinities, and African hominins: Another look at where *Homo naledi* fits in. *Journal of Human Evolution*, 122, 108-123.
- Jernvall, J. (2000). Linking development with generation of novelty in mammalian teeth. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 97, 2641-2645.
- Jernvall, J., & Jung, H.-S. (2000). Genotype, phenotype, and developmental biology of molar tooth characters. *Yearbook of Physical Anthropology*, 43, 171-190.
- Jernvall, J., & Thesleff, I. (2000). Return of lost structure in the developmental control of tooth shape. In: Teaford, M. F., Smith, M. M., & Ferguson, M. W. J. (Eds.), *Development, Function and Evolution of Teeth*. (pp. 13-21). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kamberov, Y. G., Wang, S., Tan, J., Gerbault, P., Wark, A., Tan, L., et al. (2013). Modeling recent human evolution in mice by expression of a selected EDAR variant. *Cell*, 152, 691-702.
- Kavanagh, K. D., Evans, A. R., & Jernvall, J. (2007). Predicting evolutionary patterns of mammalian teeth from development. *Nature*, 449, 427-432.
- Kimura, R., Yamaguchi, T., Takeda, M., Kondo, O., Toma, T., Haneji, K., et al. (2009). A common variation in EDAR is a genetic determinant of shovel-shaped incisors. *The American Journal of Human Genetics*, 85, 528-535.
- Kondo, S., & Townsend, G. C. (2006). Associations between Carabelli trait and cusp areas in human permanent maxillary first molars. *American Journal of Physical Anthropology*, 129, 196-203.
- Kondo, S., Townsend, G., & Matsuno, M. (2014). Morphological variation of the maxillary lateral incisor. *Japanese Dental Science Review*, 50, 100-107.
- Lasker, G. W., & Lee, M. M. C. (1957). Racial traits in human teeth. *Journal of Forensic Sciences*, 2, 401-419.
- Lease, L. R., & Sciulli, P. W. (2005). Brief communication: Discrimination between European-American and African-American children based on deciduous metrics and morphology. *American Journal of Physical Anthropology*, 126, 56-60.
- Lipschultz, J. G. (1996). *Who Were the Natufians? A Dental Assessment of the Their Population Affinities*. [M. A. Thesis]. Tempe, AZ: Arizona State University.
- Maier, C. A. (2017). *The combination of cranial morphoscopic and dental morphological methods to improve the forensic estimation of ancestry* (Unpublished doctoral dissertation). University of Nevada, Reno, Nevada.
- Martinón-Torres, M., Bermúdez de Castro, J. M., Gómez-Robles, A., Margvelashvili, A., Prado, L., Lordkipanidze, D., & Vekua, A. (2008). Dental remains from Dmanisi (Republic of Georgia): Morphological analysis and comparative study. *Journal of Human Evolution*, 55, 249-273.
- Martinón-Torres, M., Bermúdez de Castro, J. M., Gómez-Robles, A., Prado-Simón, L., & Arsuage, J. L. (2012). Morphological description and comparison of the dental remains from Atapuerca-Sima de los Huesos site (Spain). *Journal of Human Evolution*, 62,7-58.
- Mizoguchi, Y. (2013). Significant among-population associations found between dental characters and environmental factors. In: Scott, G. R. & Irish, J. D. (Eds.), *Anthropological Perspectives on Tooth Morphology: Genetics, Evolution, Variation*. (pp. 108-125). Cambridge: Cambridge University Press.
- Moormann, S., Guatelli-Steinberg, D., & Hunter, J. (2013). Metamerism, morphogenesis, and the expression of Carabelli and other dental traits in humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 150, 400-408.
- Osborn, J. W. (1978). Morphogenetic gradients: Fields versus clones. Butler, P. M. & Joysey, K. A., (Eds.), *Development, Function and Evolution of Teeth*. (pp. 171-201). London: Academic Press.
- Park, J.-H., Yamaguchi, T., Watanabe, C., Kawaguchi, A., Haneji, K., Takeda, M., et al. (2012). Effects of an Asian-specific nonsynonymous EDAR variant on multiple dental traits. *Journal of Human Genetics*, 57, 508-514.
- Paul, K. S., Stojanowski, C. M., & Butler, M. M. (2013). Biological and spatial structure an Early Classic period cemetery at Charco Redondo, Oaxaca. *American Journal of Physical Anthropology*, 152, 217-229.

- Paul, K. S., Astorino, C. M., & Bailey, S. E. (2017). The Patterning Cascade Model and Carabelli's trait expression in metameres of the mixed human dentition: Exploring a morphogenetic model. *American Journal of Physical Anthropology*, 162, 3-18.
- Peng, Q., Li, J., Tan, J., Yang, Y., Zhang, M., Wu, S., et al. (2012). EDARV370A associated facial characteristics in Uyghur population revealing further pleiotropic effects. *Human Genetics*, 135, 99-108.
- Pilloud, M. A. (2018). Technical note: The definition of new dental morphological variants related to malocclusion. *Dental Anthropology*, 31, 10-18.
- Pilloud, M. A., & Larsen, C. S. (2011). "Official" and "practical" kin: Inferring social and community structure from dental phenotype at Neolithic Çatalhöyük, Turkey. *American Journal of Physical Anthropology*, 145, 519-530.
- Pilloud, M. A., Edgar, H. J. H., George, R., & Scott, G. R. (2016). Dental morphology in biodistance analysis. In M. A. Pilloud & J. T. Hefner (Eds.), *Biological Distance Analyses: Bioarchaeology and Forensic Contexts*. (pp. 109-133). Amsterdam: Academic Press.
- Pilloud, M. A., Maier, C., Scott, G. R., & Edgar, H. J. H. (2018). Molar crenulation trait definition and variation in modern human populations. *HOMO – Journal of Comparative Human Biology*, 69, 77-85.
- Prevedorou, E., & Stojanowski, C. M. (2017). Biological kinship, postmarital residence and the emergence of cemetery formalization at Prehistoric Marathon. *International Journal of Osteoarchaeology*, 27, 580-597.
- Ragsdale, C. S., & Edgar, H. J. H. (2015). Cultural interaction and biological distance in Postclassic period Mexico. *American Journal of Physical Anthropology*, 157, 121-133.
- Rhine, S. (1990). Non-metric skull racing. In Gill, G. W., & Rhine, S., (Eds.), *Skeletal Attribution of Race (Anthropological Papers Number 4)*. Albuquerque, New Mexico: Maxwell Museum of Anthropology.
- Rodriguez, C. Y. (2014, May). Which is it, Hispanic or Latino? CNN.com. Accessed May 1, 2018 from <https://www.cnn.com/2014/05/03/living/hispanic-latino-identity/index.html>.
- Sabeti, P. C., Varilly, P., Fry, B., Lohmueller, J., Hostetter, E., Cotsapas, C., et al. (2007). Genome-wide detection and characterization of positive selection in human populations. *Nature*, 449, DOI: doi:10.1038/nature06250.
- Sciulli, P. W. (1998). Evolution of the dentition in prehistoric Ohio Valley Native Americans: II. Morphology of the deciduous dentition. *American Journal of Physical Anthropology*, 106, 189-205.
- Scott, G. R. (1978). The relationship between Carabelli's trait and the protostylid. *Journal of Dental Research*, 57, 570.
- Scott, G. R. (1980). Population variation of Carabelli's trait. *Human Biology*, 52, 63-78.
- Scott, G. R., & Turner II, C. G. (2000). *The anthropology of modern human teeth: Dental morphology and its variation in recent human populations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Scott, G. R., Maier, C., & Heim, K. (2016). Identifying and recording key morphological (nonmetric) crown and root traits. In J. D. Irish & G. R. Scott (Eds.), *A Companion to Dental Anthropology*. (pp. 247-264). Chichester: John Wiley & Sons, Inc.
- Scott, G. R., & Irish, J. D. (2017). *Human tooth crown and root morphology: The Arizona state university dental anthropology system*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Scott, G. R., Turner II, C. G., Townsend, G. C., & Martínón-Torres, M. (2018a). *The anthropology of modern human teeth: Dental morphology and its variation in recent and fossil Homo sapiens* (2nd ed). Cambridge: Cambridge University Press.
- Scott, G. R., Pilloud, M. A., Navega, D., Coelho, J. D., Cunha, E., & Irish, J. D. (2018b). rASUDAS: A new web-based application for estimating ancestry from tooth morphology. *Forensic Anthropology*, 1, 18-31.
- Skinner, M. M., & Gunz, P. (2010). The presence of accessory cusps in chimpanzee lower molars is consistent with a patterning cascade model of development. *Journal of Anatomy*, 217, 245-253.
- Sutter, R. C., & Verano, J. W. (2007). Biodistance analysis of the Moche sacrificial victims from Huaca de la Luna Plaza 3C: Matrix method test of their origins. *American Journal of Physical Anthropology*, 132, 193-206.

- Stojanowski, C. M., Paul, K. S., Seidel, A. C., Duncan, W. N., & Guatelli-Steinberg, D. (In press). Heritability and genetic integration of anterior tooth crown variants in the South Carolina Gullah. *American Journal of Physical Anthropology*, DOI: 10.1002/ajpa.23612.
- Tinoco, R. L. R., Lima, L. N. C., Delwing, F., Francesquini Jr., L., Daruge Jr., E. (2016). Dental anthropology of a Brazilian sample: Frequency of nonmetric traits. *Forensic Science International*, 258, 102.e1-102.e5.
- Townsend, G., Hughes, T., Luciano, M., Bockmann, M., & Brook, A. (2009). Genetic and environmental influences on human dental variation: A critical evaluation of studies involving twins. *Archives of Oral Biology*, 54S, S45-S51.
- Townsend, G., Bockmann, M., Hughes, T., & Brook, A. (2012). Genetic, environmental and epigenetic influences on variation in human tooth number, size and shape. *Odontology*, 100, 1-9.
- Turner, II., C. G. (1987). Late Pleistocene and Holocene population history of East Asia based on dental variation. *American Journal of Physical Anthropology*, 73, 305-321.
- Turner II, C. G., Nichol, C. R., Scott, G. R. (1991). Scoring procedures for key morphological traits of the permanent dentition: The Arizona state university dental anthropology system. In: Kelley, M. A., & Larsen, C. S., (Eds.), *Advances in Dental Anthropology*. (pp. 13-31). New York: Wiley-Liss, Inc.
- Ullinger, J. M., Sheridan, S. G., Hawkey, D. E., Turner, II, C. G., & Cooley, R. (2005). Bioarchaeological analysis of cultural transition in the southern Levant using dental nonmetric traits. *American Journal of Physical Anthropology*, 128, 466-476.
- Visscher, P. M., Hill, W. G., & Wray N. R. (2008). Heritability in the genomics era - Concepts and misconceptions. *Nature Reviews: Genetics*, 8, 255-266.
- von Carabelli, G. (1842). *Anatomie des Mundes*. Vienna: Braumüller und Seidel.
- Wu, L., & Turner II, C. G. (1993). Brief communication: Variation in the frequency and form of the lower permanent molar middle trigonid crest. *American Journal of Physical Anthropology*, 91, 245-248.
- Zhao, Z., Weiss, K. M., & Stock, D. W. (2000). Development and evolution of dentition patterns and their genetic basis. In M. F. Teaford, M. M. Smith, & M. W. J. Ferguson (Eds.), *Development, Function and Evolution of Teeth*. (pp. 152-172). Cambridge: Cambridge University Press.



# 9

## Estimación de la Ancestría Utilizando Características Morfológicas

**Kelly R Kamnikar<sup>1</sup>**

**Amber M Plemons<sup>1</sup>**

**Micayla C Spiros<sup>1</sup>**

**Joseph T Hefner<sup>1</sup>**

**Palabras clave:** origen geográfico, caracteres macromorfooscópicos, morfología craneofacial, machine learning, morfología postcraneal.

### RESUMEN

Mediante el análisis de rasgos no métricos, la ancestría se puede estimar a partir de restos completos o fragmentados. El método más utilizado, que se ajusta a las guías de los estándares probatorios, aplica a datos de rasgos macromorfooscópicos (MMS). Estos rasgos se han usado para investigar grupos ancestrales, y se pueden usar para reducir la región de origen a niveles más finos que el modelo tradicional de tres grupos (modelo de tres grupos). Aquí se explora el uso de los rasgos MMS, con un enfoque específico en su uso para estimar la afiliación biológica en poblaciones latinoamericanas. Por último, se describe el uso innovador de los rasgos no métricos en el esqueleto craneal y postcraneal para la estimación de ascendencia.

### ABSTRACT

Using nonmetric trait analysis, ancestry can be estimated from complete or fragmented remains. The most commonly used method, which conforms to guidelines for evidentiary standards, applies macromorphoscopic trait (MMS) data. These traits have been used to investigate ancestral groups and can be used to narrow down region of origin at levels finer than the traditional, 3-group model. Here

---

<sup>1</sup> Departamento de Antropología de la Universidad Estatal de Michigan. 655 Auditorium Road, East Lansing, MI.

we explore the use of MMS traits, with a specific focus on their use in estimating group affiliation in Latin American populations. Lastly, we describe innovative uses for ancestry estimation using nonmetric traits in the cranial and postcranial skeleton.

## INTRODUCCIÓN

Cuando se pide a los antropólogos forenses que analicen restos esqueléticos desconocidos, el primer paso hacia la identificación generalmente implica estimar parámetros para el perfil biológico, proporcionando evaluaciones de las variables demográficas del esqueleto humano, incluyendo edad, sexo, ancestría y estatura, además de consideraciones de trauma y patología. La estimación de la ancestría es un componente crítico de este perfil, ya que ayuda a determinar la región de origen geográfico de los restos esqueléticos humanos no identificados y, por lo tanto, aumenta la probabilidad de identificación (Dunn et al. 2020).

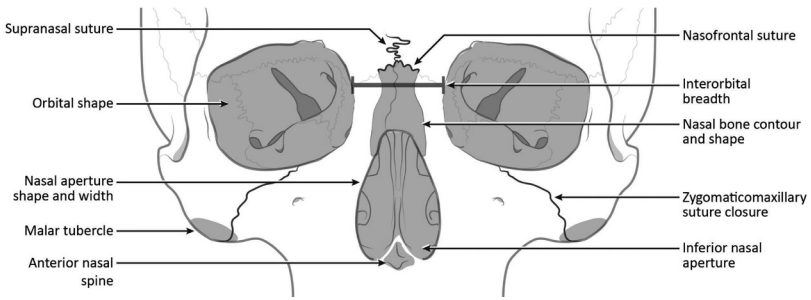
El elemento esquelético más utilizado para estimar la ancestría es el cráneo. Existen varios métodos que exploran el uso de elementos postcraneales en la estimación de ascendencia, pero se consideran menos confiables para el trabajo forense (Meeusen et al., 2015) debido a relativamente pocas pruebas o verificaciones (Spiros, 2019). Los métodos de estimación de ancestría que utilizan variables métricas y morfológicas están disponibles para la bóveda craneal y el esqueleto facial (Hefner, 2009; L'Abbe et al., 2011; Stull et al., 2014; Spradley y Jantz, 2016; Spradley, 2016; Algee-Hewitt, 2017; Spradley y Weisensee, 2017), así como la dentición (Edgar, 2013; Irish, 2015; Pilloud et al., 2017). Los análisis métricos se basan en mediciones de aspectos específicos del cráneo y el postcráneo (ver Capítulo 9). Las medidas craneales se usan con mayor frecuencia porque existe una gran base de datos de referencia disponible (Ousley y Jantz, 1998) y se puede aplicar fácilmente utilizando el programa FORDISC (Jantz y Ousley, 2005). Sin embargo, la potencialidad de los datos craneométricos disminuye cuando los restos están mal conservados y/o fragmentados.

Por el contrario, las características morfológicas, como los rasgos macromorfoscópicos (MMS) (Hefner, 2009; Hefner y Linde, 2018), se pueden recolectar de restos fragmentarios como una fuente adicional para la estimación de ancestría. Los rasgos de MMS se pueden aplicar como un método independiente o junto con medidas craneales y dentales, y con el análisis de caracteres dentales no métricos.

Existe una creciente necesidad de desarrollo y refinamiento de métodos centrados en poblaciones latinoamericanas. A pesar de que esta población tiene una historia diversa y representa un grupo heterogéneo, los antropólogos forenses de EE. UU., colocan erróneamente a estos grupos bajo el término general de hispano. Este capítulo se centrará en la historia y la aplicación del análisis de rasgos MMS para estimar la ancestría del cráneo humano, analizará la importancia y el impacto de las pruebas de error en esas estimaciones. Exploramos estudios de estimación de ancestría en múltiples grupos, enfocándonos en poblaciones tradicionalmente descritas como hispanas. Este esfuerzo resalta la importancia de niveles más finos de refinamiento para las poblaciones latinoamericanas a través de enfoques novedosos para la estimación de ascendencia.

Los rasgos craneales no métricos tradicionales califican aspectos de la morfología ósea (Hefner, 2003). Estos rasgos se han utilizado durante décadas en análisis de biodistancia para comparar poblaciones prehistóricas e históricas (Berry y Berry, 1967; Ossenberg, 1969, 1976; Hanihara e Ishida, 2001a, b, c; Pink et al., 2016; Wrobel et al., 2018). Los antropólogos forenses adoptaron algunos de estos rasgos para su uso en la estimación de ascendencia (Hefner y Linde, 2018). El antropólogo de Harvard Earnest A. Hooton (1946) compiló una lista de rasgos que determinó que estaban asociados con “razas” específicas para aplicarlas a la estimación de la “raza”. Esta lista de rasgos, conocida como ‘Lista de Harvard’, se utilizó durante la segunda mitad del siglo XX para estimar la ‘raza’ de individuos no solo en bioarqueología, sino también en contextos forenses (Brues, 1990; Rhine, 1990; Gill, 1998).

A pesar del uso continuado, el llamado enfoque de la lista de rasgos se basó en evaluaciones subjetivas basadas en la experiencia de un observador en lugar de una metodología objetiva. La “lista de rasgos” de Rhine (1990), ampliamente utilizada en la antropología forense, fue vista como un arte y una ciencia, debido a la falta de estándares de registro y a ninguna forma de calcular el error. Además, sus tamaños de muestra pequeños (negros estadounidenses,  $n = 7$ ; amerindios,  $n = 12$ ; hispanos,  $n = 15$ ; blancos estadounidenses,  $n = 53$ ) (Rhine 1990) no serían



**Figura 1.** Rasgos macromorfoscópicos en el esqueleto facial del cráneo.

Fuente: Plemons y Hefner, 2016.

compatibles con los estándares probatorios de hoy (Hefner 2007).

El fallo de Daubert en 1993 transformó la ciencia forense en los EE. UU., exigiendo que los estándares probatorios y el testimonio de testigos expertos fueran más rigurosos desde el punto de vista científico (Christensen y Crowder, 2008; Dirkmaat et al., 2008). Estos nuevos estándares estimularon el desarrollo de métodos antropológicos forenses y finalmente condujeron a la estandarización y validación de todas las metodologías utilizadas en la estimación del perfil biológico, incluida la ancestría.

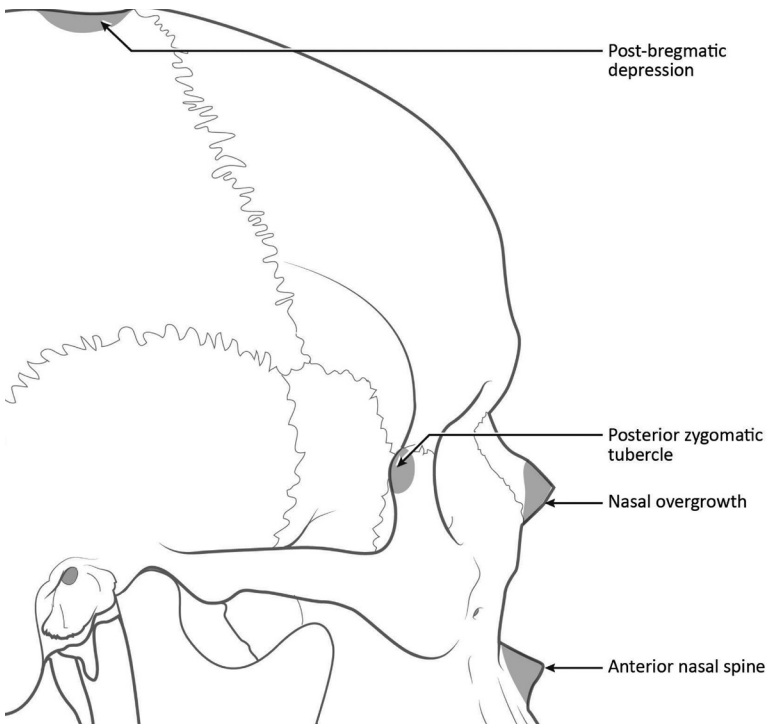
Basándose en investigaciones anteriores de Hooton (1946) y Rhine (1990), Hefner (2003, 2007) colocó trece rasgos craneales no métricos dentro de un marco estadístico para establecer un enfoque más objetivo al evaluar la variación morfológica craneal. Hefner (2003, 2007, 2009) estandarizó estos rasgos craneales no métricos con dibujos lineales y definiciones que facilitan un sistema de puntuación más objetivo. Al hacerlo, disminuyeron los sesgos cognitivos inherentes a las ciencias forenses (Nakhaeizadeh et al., 2014), lo que permitió una mayor objetividad. Los rasgos macromorfoscópicos (MMS) de Hefner se obtuvieron de muestras africanas, asiáticas, europeas y americanas nativas. En 2007, este método se amplió para incluir 14 rasgos y estadísticas de clasificación robustas. Desde entonces, los rasgos de MMS se han ajustado y expandido (Hefner, 2009; Hefner y Ousley, 2014; Plemons y Hefner, 2016; Hefner, 2018; Hefner y Linde, 2018) en la forma actual. Estos 17 rasgos se califican en Macromorphoscopic Traits (MMS) 1.61, un programa de computadora para la recolección de datos.

## RASGOS MACROMORFOSCÓPICOS

Los rasgos macromorfoscópicos son caracteres cuasi-continuos en el cráneo humano que capturan un aspecto específico de la morfología craneal. Estos rasgos se evalúan como: 1) forma ósea, 2) morfología característica ósea, 3) forma de sutura, 4) presencia / ausencia de un rasgo, y 5) prominencia/protrusión ósea (Hefner, 2009; Plemons y Hefner, 2016). Las definiciones y abreviaturas para los rasgos MMS se proporcionan en la **tabla 1** y se representan visualmente en las **figuras 1, 2 y 3**.

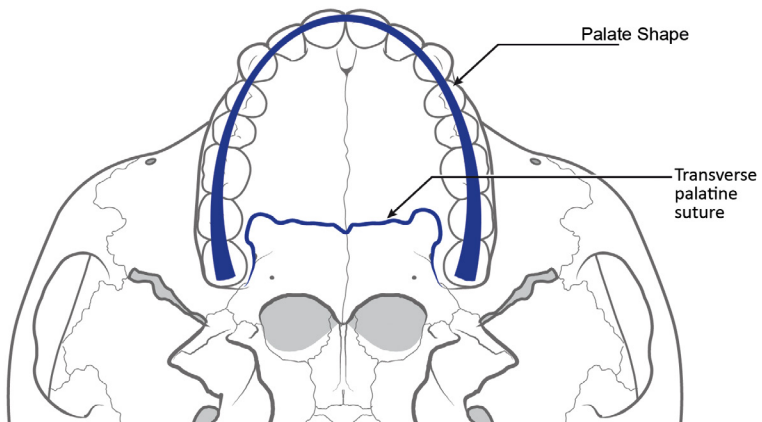
Si bien se basan en el análisis de biodiversidad, los rasgos MMS se desarrollaron específicamente para su uso en antropología forense para estimar la ancestría y, más específicamente, el origen geográfico (Plemons y Hefner, 2016). Su aplicación al trabajo de casos forenses ha sido validada (L'Abbe et al., 2011; Klales y Kenyhercz, 2015), y se ha aplicado más ampliamente a diferentes preguntas de investigación en antropología biológica, como el cambio secular (Moffit, 2017), patrones de migración prehistórica (Redfern et al., 2016) y análisis de biodiversidad en poblaciones arqueológicas (Ratliff, 2013; Plemons et al., 2018).

Antes de la recopilación de datos, se recomienda un período de entrenamiento para que los nuevos investigadores adquieran fluidez en la captura de rasgos MMS y sus estados de carácter (Klales y Kenyhercz, 2015; Kamnikar et al., 2018). Al recopilar datos, los autores recomiendan utilizar el programa MMS 1.61 (**figura 4**) para registrar y almacenar información y generar datos estandarizados apropiados para la comparación con los conjuntos de datos establecidos.



**Figura 2.** Rasgos macromorfológicos visibles desde el cráneo lateral en la cara y la bóveda.

Fuente: Plemons y Hefner, 2016.



**Figura 3.** Rasgos macromorfológicos en el cráneo inferior-anterior.

Fuente: Hefner y Linder, 2018.

**Tabla 1.** Rasgos macromorfológicos y sus abreviaturas estándar

Rasgo macromorfológico	Abreviatura
Espina nasal anterior	ANS
Apertura nasal inferior	INA
Amplitud interorbital	IOB
Tubérculo malar	MT
Ancho de la apertura nasal	NAW
Forma apertura nasal	NAS
Contorno hueso nasal	NBC
Forma del hueso nasal	NBS
Sutura frontal nasal	NS
Sobrecrecimiento nasal	NO
Forma de la órbita	OB
Forma del paladar	PS
Depresión postbregmática	PBD
Tubérculo cigomático posterior	PZT
Sutura supranasal	SPS
Sutura palatina transversal	TPS
Sutura cigomatomaxilar	ZS

Fuente: Elaboración propia.

El programa MMS contiene descripciones visuales y escritas de cada estado de los caracteres e incluye un manual de usuario fotográfico. Además, ahora se encuentra disponible un extenso atlas fotográfico sobre la identificación de rasgos de MMS y los procedimientos adecuados para la calificación de rasgos (Hefner y Linde, 2018).

Un avance reciente en la investigación de rasgos MMS en la estimación de la ancestría es el MaMD (*Macromorphoscopic Databank*), que alberga datos MMS para más de 8,000 personas de una gran cantidad de regiones geográficas y poblaciones de todo el mundo (Hefner, 2018). Con este conjunto de datos, las comparaciones grupales se facilitan utilizando muestras modernas y arqueológicas (Hefner, 2018). El MaMD se clasifica en múltiples niveles de clasificación: desde ‘ascendencia de tres grupos’ (asiática, africana y europea), ‘ascendencia’ (geográfica), ‘ascendencia percibida por pares’ (designación de

EE. UU.) A niveles más finos de análisis, tales como ‘Origen geográfico’ o lugar de nacimiento, y ‘Población’ (información tribal para individuos nativos americanos y africanos).

## REFINAMIENTO DE LA ESTIMACIÓN DE LA ANCESTRÍA

Los métodos tradicionales de estimación de ancestría se ajustaban al modelo de tres grupos (es decir, africano, asiático, europeo, o un cuarto, americano para el caso de Latinoamérica). Este modelo asumió un alto grado de homogeneidad dentro de cada grupo. La realidad, sin embargo, es que estas poblaciones son diferentes entre sí geográfica, temporal y genéticamente (Feldman et al., 2003; Barnholtz-Sloan et al., 2005; Li et al., 2008; Caulfield et al., 2009; Monsalve y Hefner, 2016; Spradley y Hefner, 2016; Hefner, 2018; Plemons et al., 2018). Esta crítica es especialmente relevante cuando examinamos la estimación de ascendencia en relación con contextos humanitarios y forenses en América Latina. Según el modelo de tres grupos, todas las poblaciones latinoamericanas se agruparían con muestras asiáticas. Muchos antropólogos forenses ahora usan un modelo de cinco grupos donde la cohorte asiática se refina aún más como asiática, nativa americana e hispana. Sin embargo, la comunidad latinoamericana todavía está clasificada bajo el término general, hispano. Este término se usa para agrupar individuos que provienen de países latinoamericanos por un idioma hablado común, el español (Ross et al., 2004). A medida que la investigación sobre la ancestría, es contrastada en eventos del mundo real, los términos o categorías ancestrales utilizados en los modelos de tres y cinco grupos, con amplias clasificaciones, como hispanos o asiáticos, no son útiles (Spradley, 2014). Términos como hispano pasan por alto las diferencias en las historias de población, los factores ambientales y la lingüística que influyen en el flujo de genes. Los supuestos de homogeneidad para las poblaciones latinoamericanas son insostenibles y, como tal, no es razonable suponer homogeneidad en la morfología craneal.

El refinamiento de estas clasificaciones en poblaciones con significación se ha logrado en el MaMD. El MaMD distingue múltiples niveles de ancestría (por ejemplo, “ancestría de tres grupos”, “ancestría”, “ascendencia percibida por pares”, “origen geográfico” y “población”). En el primer nivel, los grupos latinoamericanos

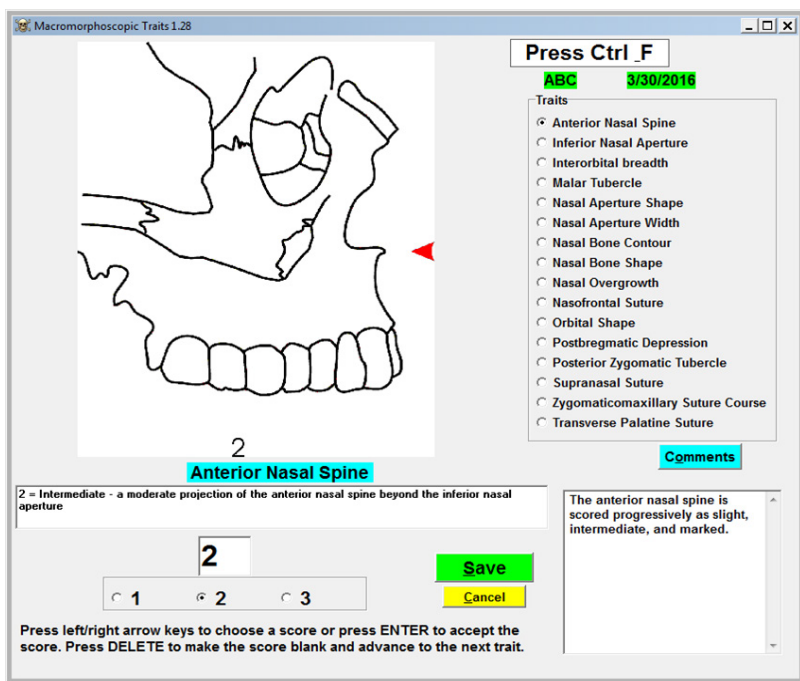


Figura 4. La interfaz del software MMS con descripciones e imágenes estandarizadas para cada rasgo macromorfooscópico y estado de carácter.

Fuente: Elaboración propia.

todavía están asignados a la clasificación pasada de moda, asiática. Los siguientes dos niveles (“ancestría” y “ancestría percibido por pares”) clasifican a las personas latinoamericanas como hispanas. “Origen geográfico” refina aún más la clasificación por país u origen. Los países y los tamaños de muestra actualmente representados en el MaMD se enumeran en la tabla 2. Debido a las muestras relativamente pequeñas en este momento, los latinoamericanos no se refinan aún más en el nivel de “Población”. Sin embargo, a medida que aumenta el tamaño de la muestra de los contribuyentes externos y se obtienen historias de población más informadas junto con información residencial individual, es probable que se incluyan datos a nivel de población para estos grupos.

Se prevé una herramienta analítica para la estimación de ancestría en los próximamente. Este programa estará disponible junto con el sof-

ware MMS y permitirá al usuario final comparar los puntajes MMS de un solo individuo con las poblaciones incluidas en el MaMD. Al elegir entre poblaciones modernas o arqueológicas para la comparación, se pueden aplicar varios procedimientos estadísticos al trabajo de casos individuales. El software proporcionará una clasificación junto con resultados de apoyo para evaluar la solidez de esa clasificación.

### ERROR INTRA OBSERVADOR E INTEROBSERVADOR EN MAMD

El impacto de caso Daubert en los EE. UU., también identificó que se debe evaluar la validez y la confiabilidad del método MMS. El caso Daubert exigía que los métodos en la ciencia forense fueran válidos y confiables para ser permitidos en un tribunal de justicia. Los conceptos de fiabilidad y validez son separados. La confiabilidad de

**Tabla 2.** Grupos hispanos actuales en el MaMD

Tres grupos	Ancestría	Origen geográfico	Hombres	Mujeres	Sexo desconocido	Total
Asia	Hispano	El Salvador	5	0	0	5
		Colombia	177	67	0	244
		Guatemala	1	3	105	109
		Honduras	1	0	0	1
		Mexico	24	2	0	26
		Hispanos del suroeste	5	4	109	118
					<b>Total:</b>	503

Fuente: *Elaboración propia.*

un método mide la consistencia: ¿puede un método ser repetido constantemente por múltiples observadores? La validez mide la exactitud (qué tan bien mide un método lo que está tratando de medir) y, por lo tanto, no es necesariamente una medida de repetibilidad (Christensen et al., 2014).

Evaluar la fiabilidad de un método requiere conocer el error intra e inter-observadores. El error interobservador es una medida de las diferencias en las observaciones entre múltiples observadores. El error intraobservador calcula las diferencias en los resultados del método de un solo observador a lo largo del tiempo (Dudzik y Kolatorowicz, 2016). Ambas pruebas evalúan la repetibilidad y pueden usarse para evaluar las fuentes de error, lo cual es especialmente importante para el análisis de rasgos MMS, ya que estos rasgos son, por naturaleza, subjetivos. Los esfuerzos de estandarización apuntaban a eliminar la subjetividad para que cualquier observador pudiera seguir instrucciones para calificar de manera confiable los rasgos. En su publicación original, Hefner (2009) probó la fiabilidad de 11 rasgos con cinco observadores en siete cráneos, volviendo a analizar los mismos dos semanas después de la evaluación original. Los resultados demostraron tasas de error de moderadas a bajas (Landis y Koch, 1977). Con base a estos resultados, Hefner (2009) estandarizó aún más las definiciones de los rasgos MMS para reducir el impacto del error.

Kamnkar y col. (2018) realizaron el estudio de error intraobservador para clarificar las definiciones de los rasgos. Su estudio de error

intraobservador a largo plazo examinó el comportamiento de los rasgos MMS, excluyendo SPS, con un intervalo de captura de datos de 14 años (2002-2016) (Kamnkar et al., 2018). Los resultados mostraron una consistencia moderada a buena para siete rasgos (NBC, NAW, IOB, INA, PBD, NO y ANS), y observaciones significativamente diferentes para tres (MT, ZS y PZT). Se identificaron tres patrones de sesgo como posibles fuentes de error: 1) experiencia del observador, 2) nuevas tecnologías y 3) errores en el diseño metodológico. Primero, a medida que los observadores adquieren más experiencia, tienen una mayor proporción de estados de carácter intermedio. En otras palabras, los observadores experimentados tienen menos probabilidades de asignar valores de rasgos extremos, lo que sugiere que la cantidad de variación humana observada durante la carrera de un profesional puede producir sesgos. Segundo, la implementación de tecnología y ajustes en las definiciones y expresiones de rasgos aumenta la objetividad. Ejemplos de nuevas herramientas incluyen el uso del medidor de contorno para el contorno del hueso nasal y la generación de dibujos lineales para cada rasgo (Kamnkar et al. 2018). Por último, los cambios en la terminología de la tesis original (Hefner, 2003) pueden atribuirse al error humano. El tubérculo cigomático posterior (PZT) se llamaba originalmente tubérculo marginal y se abreviaba ‘MT’, mientras que el tubérculo malar (MT) se llamaba originalmente tubérculo cigomático y se abreviaba ‘ZMT’ (Hefner, 2003; Kamnkar et al., 2018). Antes de la publicación, los nombres de los rasgos se cambiaron a sus

formas actuales y, sin darse cuenta, los datos asociados con los nombres de los rasgos anteriores se intercambiaron sin saberlo. Debido a las abreviaturas similares y la confusión de datos, se informaron errores al comparar el tubérculo marginal (ahora PZT) con el tubérculo cigomático (ahora tubérculo malar). Los resultados clave de esta investigación muestran que, si bien los períodos de entrenamiento y la consistencia del método deberían disminuir en gran medida el error, más pruebas de error entre observadores e intraobservadores a largo plazo mejoran la confiabilidad y pueden usarse para detectar errores y sesgos.

El error interobservador también se ha evaluado en el Macromorphoscopic Databank (MaMD). Los datos del rasgo MMS fueron recolectados para una muestra de nativos americanos ( $n = 2,231$ ) por miembros del Laboratorio de Osteología de la Institución Smithsonian (SIOL) dentro de la Oficina de Repatriación, Museo Nacional de Historia Natural. Siete observadores recolectaron datos del rasgo MMS durante un período de 12 años. Diez de los rasgos estándar de MMS recopilados por SIOL se incluyeron en nuestro análisis. Estos incluyen: columna nasal anterior (ANS), abertura nasal inferior (INA), sobrecrecimiento nasal (NO), sutura supranasal (SPS), contorno del hueso nasal (NBC), tubérculo malar (MT), tubérculo cigomático posterior (PZT), depresión postbregmática (PBD), amplitud interorbital (IOB) y ancho de la abertura nasal (NAW). Ningún cráneo fue registrado por más de un observador; por lo tanto, no se pudieron utilizar las pruebas tradicionales para evaluar el error interobservador.

Como reemplazo de los enfoques más tradicionales para las medidas de error del observador, se examinó la relación entre los puntajes de los rasgos entre los observadores utilizando varios procedimientos novedosos. Nuestra evaluación incluyó análisis de conglomerados, análisis de función discriminante y modelado de árbol de decisión, para determinar si los observadores podrían clasificarse según los puntajes de los rasgos (es decir, patrones de sesgo). Las clasificaciones débiles sugerían que no existía un sesgo modelado dentro o entre los observadores. Los datos del rasgo MMS del SIOL parecen razonablemente representativos de otros datos, a pesar de ser recopilados por múltiples observadores con diferentes niveles de experiencia (Hefner et al., 2018).

## MEJORA DE LA CLASIFICACIÓN HISPANA EN EL MAMD

Debido a los contextos forenses y humanitarios dentro de los Estados Unidos, muchos antropólogos forenses han pedido formas nuevas e innovadoras para estimar el origen geográfico. Esta sección discute los intentos de refinar y desenredar la clasificación de los individuos hispanos, destacando los nuevos enfoques metodológicos para la estimación de ancestría utilizando rasgos macromorfoscópicos.

Se han compilado datos macromorfoscópicos para muestras hispanas de varias organizaciones nacionales e internacionales. Estos incluyen: restos de migrantes identificados de la Oficina del médico forense del condado de Pima (PCOME) en Arizona, EE. UU., El Centro de antropología forense del estado de Texas (FACTS) en Texas, EE. UU., Una colección de referencia osteológica de la Universidad de Antioquia en Medellín, Colombia, víctimas del genocidio se recuperaron del cementerio de La Verbena en Guatemala, la Colección esquelética donada por William M. Bass en Tennessee, EE. UU., y personas documentadas de las Colecciones del Museo Maxwell en Nuevo México, EE. UU. El número total de individuos comprende una muestra robusta, lo que permite estudios de biodiastancia. Actualmente, los tamaños de muestra en el nivel de "Origen Geográfico" están significativamente subrepresentados para algunas poblaciones, lo que dificulta realizar pruebas significativas en este nivel de asignación. Por ejemplo, la muestra PCOME contiene muchas personas identificadas de México y Guatemala, pero muestras mucho más pequeñas de El Salvador y Honduras. Los países más grandes, como México, varían en dimensiones craneométricas (Hughes et al., 2013) y mezcla genética (Rubi-Castellanos et al., 2009) en todas las regiones del país.

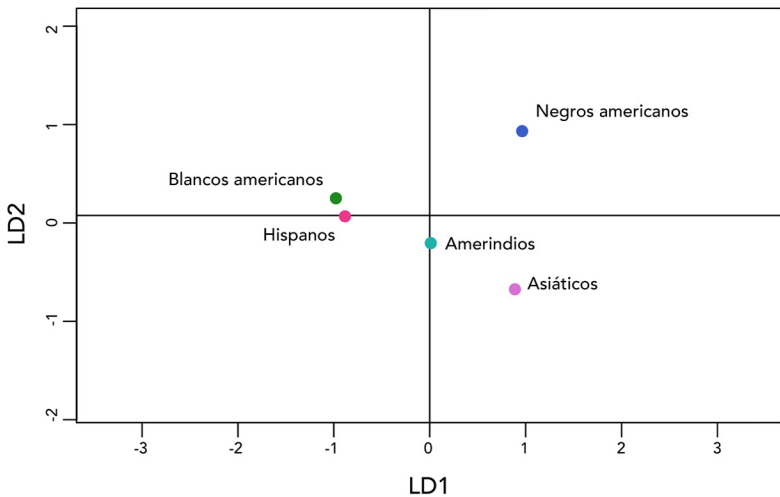
Los datos craneométricos se han utilizado para evaluar el origen geográfico y pueden distinguir entre poblaciones asiáticas e hispanas (Yukyi, 2017) y migrantes no identificados a lo largo de la frontera entre México y Estados Unidos (Spradley, 2014), pero los datos del rasgo MMS han sido menos probados en estos contextos. Monsalve y Hefner (2016) evaluaron la variación intrarregional en una muestra colombiana de Antioquia. Si bien no encontraron ninguna distinción entre regiones dentro de Antioquia, la muestra colombiana agrupada podría distinguirse de otros grupos de referencia



en el MaMD (es decir, muestras de Asia, negros americanos, blancos americanos, hispanos y de Isla del Pacífico). Los cráneos colombianos clasifican correctamente en un 48.4%, con frecuentes clasificaciones erróneas en para grupos de negro americano, blanco americano o hispano (Monsalve y Hefner, 2016). Curiosamente, no se produjeron clasificaciones erróneas para los grupos de isleños asiáticos o de las islas del Pacífico, poblaciones normalmente agrupadas con colombianos e hispanos en el modelo tradicional de tres grupos. La investigación preliminar también indica la separación en el nivel de origen geográfico de los restos de migrantes identificados del PCOME; sin embargo, se necesitan muestras de mayor tamaño de cada país de origen para abordar estos problemas (Vogelsberg, 2018).

Plemons y col. (2018) examinaron la precisión de la clasificación entre una muestra hispana histórica de Alameda-Stone y otros grupos asiáticos, incluidas muestras amerindias, esquimales y asiáticas (agrupadas en chinos y japoneses). Un análisis canónico de las coordenadas principales (CAP) utilizando la métrica de distancia chi-cuadrado utilizando siete rasgos MMS

(ANS, INA, IOB, NAW, NBC, PBD, MT) se obtuvo un resultado moderado. En comparación con estos tres grupos, también tradicionalmente clasificados como asiáticos en el modelo de tres grupos, los hispanos se clasificaron correctamente en el 49.38% de los casos, significativamente mejor que la asignación aleatoria (25%). El modelo general tenía una tasa de clasificación correcta del 53.13%. Sin embargo, los modelos CAP adicionales que agregaron muestras americanas negras y americanas del siglo XIX, y agruparon grupos amerindios y esquimales, clasificaron correctamente solo el 6.4% de la muestra hispana. En ese análisis, los individuos hispanos estaban más cerca de la muestra blanca estadounidense en el espacio multivariante (figura 5). Se necesitan más estudios para explorar la biodistancia y la precisión de la clasificación utilizando poblaciones hispanas modernas y de referencia comparativa.



**Figura 5.** Análisis canónico de los componentes principales (CAP) en cinco muestras históricas / arqueológicas: blanco americano, negro americano, hispano, amerindio y asiático. Las líneas verticales y horizontales diferencian grupos de grupos entre sí.

Fuente: Plemons et al., 2018.

## COMBINANDO MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA ANCESTRÍA

Varias investigaciones novedosas para llevar a cabo estimaciones de ancestría, más completas e informadas, han demostrado eficacia. Por ejemplo, Hefner y colegas (2014) combinaron datos de rasgos MMS con variables craneométricas utilizando modelos aleatorios de *random forest*, logrando altas precisiones de clasificación. Vogelesberg (2018) también combinó estos dos tipos de datos para individuos recuperados a lo largo de la frontera entre Estados Unidos y México. Junto con los datos del geográficos (e.g. Sistemas de Información Geográfica, por ejemplo, la ubicación de la recuperación), pudo predecir con confianza, el país de origen e ilustrar visualmente las rutas de migración por país para los migrantes mexicanos y guatemaltecos, también observó cambios en las rutas migratorias con el tiempo. Este enfoque combina datos esqueléticos con contextos culturales y políticos para predecir el origen geográfico, refinando los niveles de asignaciones específicas de ancestría.

Otros esfuerzos combinan métodos establecidos de estimaciones de ancestría en una sola asignación grupal. Herrmann y col. (2016) utilizaron un enfoque de sistemas de clasificación múltiple para combinar métrica dental (Hanihara e Ishida, 2005; Pilloud et al., 2014), morfología dental (Edgar, 2013) y datos de rasgos MMS (Hefner, 2009), para estimar la ancestría de una muestra esquelética de un asilo histórico en Jackson, Mississippi. Cada individuo fue evaluado utilizando los tres métodos antes mencionados. Los análisis métricos dentales se realizaron en *FORDISC 3.0* utilizando la herramienta de conjunto de datos personalizado, mientras que la morfología dental y los rasgos MMS se puntuaron utilizando un enfoque bayesiano en Excel. Cada método produjo estimaciones de ascendencia con probabilidades posteriores asociadas promediadas para generar una única probabilidad posterior de ancestría. Este método de análisis podría aplicarse fácilmente utilizando cualquier combinación de métodos con las poblaciones de referencia deseadas.

### Caracteres morfoscopios postcraneales

Debido a que el cráneo ha sido el foco en los enfoques métricos y no métricos de la ancestría, el esqueleto postcranial se ha pasado por alto en gran medida. Varios estudios que utilizan el

análisis métrico se han centrado en la morfología femoral (Stewart, 1962; Gilbert, 1976; DiBennardo y Taylor, 1982; Craig, 1995; Trudell, 1999; Gill, 2001; Shirley et al., 2012; Tallman y Winburn, 2015) y, en menor medida, la morfología de la pelvis y la tibia (Farrally y Moore, 1975; Shirley et al., 2012), o combinaciones de elementos postcraneales (Liebenberg et al., 2015). Si bien los rasgos no métricos en el esqueleto postcranial en lo que respecta a la ancestría se han investigado desde finales de 1800 (Cunningham, 1886; Hrdlička, 1932; Trotter, 1934; Hrdlička, 1942), los tamaños de las muestras fueron limitados y los métodos nunca fueron tratados con una perspectiva estadísticamente sólida. Diversas opiniones persistentes sobre la falta de variación en el esqueleto postcranial (debido a la extrema plasticidad) han contribuido directamente a la disminución de la atención en la literatura. En comparación con los estudios centrados en el cráneo, la investigación que utiliza elementos postcraneales es relativamente escasa (Saunders, 1977; Finnegan, 1978), y solo se expandió a principios de siglo (Duray et al., 1999; Donlon, 2000; Spiros, 2019).

Al igual que en la reestructuración de Hefner (2003, 2009) de los rasgos craneales no métricos, Spiros (2019) estandarizó las estrategias de puntuación, las definiciones y los dibujos lineales para 11 de los rasgos no métricos postcraneales más comúnmente registrados. Esta publicación creó un enfoque metodológico objetivo para estos datos donde las distribuciones de frecuencia de cada rasgo se calcularon para muestras de negro americano y blanco americano derivadas de la colección Robert J. Terry. Este método ha sido probado en una muestra moderna e la colección Bass incorporando rasgos MMS craneales mejorando las clasificaciones por 15% con respecto a los modelos que solo utilizan datos craneales o poscraneales (Spiros y Hefner 2020). Los esfuerzos futuros se centran en una perspectiva global incorporada con la ontogenia y el estatus socioeconómico como factores adicionales.

## CONCLUSIONES

Los métodos de estimación de ancestría han recorrido un largo camino. Nuevas vías de investigación que combinan métodos métricos y no métricos craneales y poscraneales ahora se están refinando y explorando en una escala más fina. Si bien los métodos de estimación se han man-

tenido relativamente estables en los últimos 15 años, su aplicación a nuevas poblaciones y muestras ha sido criticada, lo que exige un replanteamiento de la naturaleza dogmática actual que rodea las estimaciones ancestrales tradicionales. A partir de esto, se ve la aplicación de técnicas innovadoras para un refinamiento del método en los tres grupos de clasificación ancestral tradicionales.

A medida que se exploran más los matices en la estimación de ancestría del esqueleto humano, es imperativa la necesidad de investigar muchos grupos diversos en todo el mundo. Con este fin, destacamos la importancia de la investigación colaborativa. El intercambio de datos amplía y mejora los métodos actuales de estimación de ancestría y conduce a enfoques novedo-

sos hasta ahora no reconocidos. La aplicación de estos métodos a nivel local, nacional e internacional en los diversos escenarios médico-legales en los que se recuperan restos óseos desconocidos, sirve para fortalecer el enfoque.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Dr. Mirsha Quinto-Sánchez y al Dr. Jorge Alfredo Gómez Valdés por la invitación a contribuir a este trabajo. Si está interesado en colaboraciones de datos utilizando MaMD, comuníquese con [anpamd@msu.edu](mailto:anpamd@msu.edu). La investigación para este proyecto fue financiada en parte por la subvención NIJ # 2015-DN-BX-K012.

## REFERENCIAS CITADAS

- Algee-Hewitt B.E.B. 2017. Temporal trends in craniometric estimates of admixture for a modern American sample. *American Journal of Physical Anthropology* 163:729-740.
- Barnholtz-Sloan JS, Chakraborty R, Sellers TA., & Schwartz AG. 2005. Examining population stratification via individual ancestry estimates versus self-reported race. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* 14:1545-1551.
- Berry AC, Berry RJ. 1967. Epigenetic variation in the human cranium. *Journal of Anatomy* 101:361-379.
- Bruce AM. 1990. The once and future diagnosis of race. In Gill RS, editor. *Skeletal attribution of race: Methods for forensic anthropology*. Albuquerque: Maxwell Museum of Anthropology. p 1-9.
- Caufield T, Fullerton SM, Ali-Khan SE, Arbour L, Burchard EG, Cooper RS, Hardy BJ, Harry S, Hyde-Lay R, Kahn J, Kittles R, Koenig BA, Lee SS, Malinowski M, Ravitsky V, Sankar P, Scherer SW, Seguin B, Shickle D, Suarez-Kurtz G, Daar AS. 2009. Race and ancestry in biomedical research: Exploring the challenges. *Genome Med* 1:8.
- Christensen AM, Crowder CM. 2008. Evidentiary standards for forensic anthropology. *Journal of Forensic Sciences* 54:1211-1216.
- Christensen AM, Crowder CM, Ousley SD, Houck MM. 2014. Error and its meaning in forensic science. *Journal of Forensic Sciences* 59:123-126.
- Craig EA. 1995. Intercondylar shelf angle: A new method to determine race from the distal femur. *Journal of Forensic Sciences* 40:777-782.
- Cunningham DJ. 1886. The neural spines of the cervical vertebrae as a race-character. *Journal of Anatomy and Physiology* 20:637-640.
- DiBennardo R, Taylor JV. 1983. Multiple discriminant function analysis of sex and race in the postcranial skeleton. *American Journal of Physical Anthropology* 61:305-314.
- Dirkmaat DC, Cabo LL, Ousley SD, Symes SA. 2008. New perspectives in forensic anthropology. *American Journal of Physical Anthropology* 137(S47):33-52.
- Donlon DA. 2000. The value of infracranial nonmetric variation in studies of modern Homo sapiens: An Australian focus. *American Journal of Physical Anthropology* 113:349-368.
- Dudzik B, Kolarowicz A. 2016. Craniometric data analysis and estimation of biodistance. In Pilloud MA, Hefner JT, editors. *Biological distance analysis: Forensic and bioarchaeological perspectives*. New York, NY: Elsevier. p 35-60.

- Dunn RR, Spiros MC, Kamnikar KR, Plemons AM, Hefner JT. 2020. Ancestry estimation in forensic anthropology: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science*. 2:e1369.
- Duray SM, Morter HB, Smith FJ. 1999. Morphological variation in cervical spinous processes: Potential applications in the forensic identification of race from the skeleton. *Journal of Forensic Sciences* 44:937-944.
- Edgar HJH. 2013. Estimation of ancestry using dental morphological characteristics. *Journal of Forensic Sciences* 58:S3-S8.
- Farrally MR, Moore WJ. 1975. Anatomical differences in the femur and tibia between Negroids and Caucasoids and their effects upon locomotion. *American Journal of Physical Anthropology* 43:63-69.
- Feldman MW, Lewontin RC, King MC. 2003. Race: A genetic melting pot. *Nature* 424: 374.
- Finnegan M. 1978. Non-metric variation of the infracranial skeleton. *Journal of Anatomy* 125:23-37.
- Gilbert BM. 1976. Anterior femoral curvature: its probable basis and utility as a criterion of racial assessment. *American Journal of Physical Anthropology* 45:601-604.
- Gill GW. 1998. Craniofacial criteria in the skeletal attribution of race. In Reichs K, editor. *Forensic Osteology: Advances in the Identification of Human Remains*. Springfield, IL: Charles C. Thomas. p 293-317.
- Gill GW. 2001. Racial variation in the proximal and distal femur: Heritability and forensic utility. *Journal of Forensic Sciences* 46:791-799.
- Hanihara T, Ishida H. 2001a. Frequency variations of discrete cranial traits in major human populations. I. Supernumerary ossicle variations. *Journal of Anatomy* 198:689-706.
- Hanihara T, Ishida H. 2001b. Frequency variations of discrete cranial traits in major human populations. II. Hypostotic variations. *Journal of Anatomy* 198:707-725.
- Hanihara T, Ishida H. 2001c. Frequency variations of discrete cranial traits in major human populations. III. Hyperostotic variations. *Journal of Anatomy* 198:251-272.
- Hanihara T, Ishida H. 2005. Metric dental variation of major human populations. *American Journal of Physical Anthropology* 128:287-298.
- Hefner JT. 2003. Assessing nonmetric cranial traits currently used in the forensic determination of ancestry [master's thesis]. Gainesville, FL: The University of Florida.
- Hefner JT. 2007. Assessing nonmetric cranial traits currently used in the forensic determination of ancestry [doctoral dissertation]. Gainesville, FL: The University of Florida.
- Hefner JT. 2009. Cranial nonmetric variation and estimating ancestry. *Journal of Forensic Sciences* 54:985-994.
- Hefner JT. 2018. The macromorphoscopic databank. *American Journal of Physical Anthropology* 166:994-1004.
- Hefner JT, Kamnikar KR, Plemons AM. 2018. Macromorphoscopic (MMS) Traits: Data Collection and Analysis. *Proceedings of the 70th Annual American Academy of Forensic Sciences*, p. 32.
- Hefner JT, Linde KC. 2018. *Atlas of Human Cranial Macromorphoscopic Traits*. San Diego: Elsevier, Academic Press.
- Hefner JT, Ousley SD. 2014. Statistical classification methods for estimating ancestry using morphoscopic traits. *Journal of Forensic Sciences* 59:883-890.
- Herrmann NP, Plemons AM, Harris E. 2016. Estimating ancestry of fragmentary remains via multiple classifier systems: A study of the Mississippi State Asylum skeletal assemblage. In Pilloud MA, Hefner JT, editors. *Biological distance analysis: Forensic and bioarchaeological perspectives*. New York, NY: Elsevier. p 285-299.
- Hooton EA. 1946. *Up from the ape*. New York: The Macmillan Co.
- Hrdlička A. 1932. The humerus: Septal apertures. *Anthropologie* 10:31-96.
- Hrdlička A. 1942. The scapula: Visual observations. *American Journal of Physical Anthropology* 29:73-94.
- Hughes CE, Tise ME, Trammell LH, Anderson BE. 2013. Cranial morphological variation among contemporary Mexicans: Regional trends, ancestral affinities, and genetic comparisons. *American Journal of Physical Anthropology* 151:506-517.

- Irish JD. 2015. Dental nonmetric variation around the world: Using key traits in populations to estimate ancestry in individuals. In Berg GE, Ta'ala SC, editors. *Biological affinity in forensic identification of human skeletal remains: Beyond black and white*. Boca Raton, FL: CRC Press. p 165-190.
- Jantz RL, Ousley SD. 2005. *FORDISC 3: Computerized forensic discriminant functions. Version 3.0*. The University of Tennessee, Knoxville.
- Kamnikar KR, Plemons AM, Hefner JT. 2018. Intraobserver error in macromorphoscopic trait data. *Journal of Forensic Sciences* 63:361-370.
- Kales AR, Kenyhercz MW. 2015. Morphological assessment of ancestry using cranial macromorphoscopies *Journal of Forensic Sciences* 60:13-20.
- L'Abbe E, Rooyen C, Nawrocki S, Becker P. 2011. An evaluation of nonmetric cranial traits used to estimate ancestry in a South African sample. *Forensic Science International* 209:195.e1-1E7.
- Landis JR, Koch GG. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33:159-74.
- Li JZ, Absher DM, Tang H, Southwick AM, Casto AM, Ramachandran S, Cann HM, Barsh GS, Feldman M, Cavalli-Sforza LL, Myers RM. 2008. Worldwide human relationships inferred from genome-wide patterns of variation. *Science* 319:1100-1104.
- Liebenberg L, L'Abbe EN, Stull KE. 2015. Population differences in the postcrania of modern South Africans and the implications for ancestry estimation. *Forensic Science International* 257:522-529.
- Meeusen RA, Christensen AM, Hefner JT. 2014. The use of femoral neck axis length to estimate sex and ancestry. *Journal of Forensic Sciences* 60:1300-1304.
- Mitchell J. 1998. The incidence of the lateral bridge of the atlas vertebra. *Journal of Anatomy* 193:283-285.
- Moffitt MN. 2017. *The evaluation of macromorphoscopic traits to determine secular change among a sample of African and American Blacks* [master's thesis]. East Lansing, MI: Michigan State University.
- Monsalve T, Hefner JT. 2016. Macromorphoscopic trait expression in a cranial sample from Medellín, Colombia. *Forensic Science International* 266:574.e1-574.e8.
- Nakhaeizadeh S, Dror IE, Morgan RM. 2014. Cognitive bias in forensic anthropology: Visual assessment of skeletal remains is susceptible to confirmation bias. *Science and Justice* 54:208-214.
- Ossenberg NS. 1969. *Discontinuous morphological variation in the human cranium*. [doctoral dissertation]. Toronto, Canada: University of Toronto.
- Ossenberg NS. 1976. Within and between race distances in population studies based on discrete traits of the human skull. *American Journal of Physical Anthropology* 45:701-715.
- Pilloud MA, Hefner JT, Hanihara T, Hayashi A. 2014. The use of tooth crown measurements in the assessment of ancestry. *Journal of Forensic Sciences*, 59, 1493-1501.
- Pilloud MA, Maier C, Scott GR, Hefner JT. 2017. Advances in cranial macromorphoscopic trait and dental morphology analysis for ancestry estimation. In Latham KE, Bartelink EJ, Finnegan M, editors. *New perspectives in forensic human skeletal identification*. Cambridge, MA: Academic Press. p 23-34.
- Pink CM, Maier C, Pilloud MA, Hefner JT. 2016. Cranial nonmetric and morphoscopic data sets. In Pilloud MA, Hefner JT, editors. *Biological distance analysis: Forensic and bioarchaeological perspectives*. New York, NY: Elsevier. p 91-102.
- Plemons AM, Hefner JT. 2016. Ancestry estimation using macromorphoscopic traits. *Academic Forensic Pathology*, 6, 400-412.
- Plemons AM, Hefner JT, Kamnikar KR. 2018. Refining Asian ancestry classifications via cranial macromorphoscopic traits. *American Journal of Physical Anthropology* 165:210.
- Ratliff MD. 2014. *Evaluating morphoscopic trait frequencies of Southeast Asians and Pacific Islanders* [master's thesis]. Missoula, MT: The University of Montana.
- Redfern RC, Gröcke DR, Millard AR, Ridgeway V, Johnson L, Hefner JT. 2016. Going south of the river: A multi-

- disciplinary analysis of ancestry, mobility and diet in a population from Roman Southwark, London. *Journal of Archaeological Science* 74:11-22.
- Rhine S. 1990. Nonmetric skull racing. In Gill G, Rhine S, editors. *Skeletal attribution of race: Methods for forensic anthropology*. Albuquerque: Maxwell Museum of Anthropology. p 9-20.
- Rubi-Castellanos R, Martínez-Cortés G, Francisco Muñoz-Valle J, González-Martín A, Cerda-Flores RM, Anaya-Palafox M, Rangel-Villalobos H. 2009. Pre-Hispanic Mesoamerican demography approximates the present-day ancestry of Mestizos throughout the territory of Mexico. *American Journal of Physical Anthropology* 139:284-294.
- Saunders SR. 1977. *The development and distribution of discontinuous morphological variation of the human infra-cranial skeleton* [doctoral dissertation]. Toronto, CA: University of Toronto.
- Shirley NR, Abdel Fatah EE, Mahfouz M. 2014. Beyond the cranium: Ancestry estimation from the lower limb/ In Berg GE, Ta'ala SC, editors. *Biological affinity in forensic identification of human skeletal remains: Beyond black and white*. Boca Raton, FL: CRC Press. p 152-173.
- Spiros MC. 2019. Standardization of postcranial nonmetric traits and their utility in ancestry analysis. *Forensic Anthropology* 2:29-44.
- Spiros MC, Hefner JT. 2020. Ancestry estimation using cranial and postcranial macromorphoscopic traits. *Journal of Forensic Sciences*. 65:921-929.
- Spradley MK. 2016. Metric methods for the biological profile in forensic anthropology: Sex, ancestry, and stature. *Academic Forensic Pathology* 6:391-399.
- Spradley MK. 2014. Toward estimating geographic origin of migrant remains along the United States-Mexico border. *Annals of Anthropological Practice* 28:101-110.
- Spradley MK, Hefner JT. 2016. Using non-metric traits to estimate ancestry in the 21st century. *American Journal of Physical Anthropology* 159:99.
- Spradley MK, Weisensee K. 2017. Ancestry estimation: The importance, the history, and the practice. In Langley NR, Tersigni-Tarrant MT, editors. *Forensic Anthropology: A Comprehensive Introduction*, 2nd Ed. Boca Raton: CRC Press. p 163-174.
- Stewart TD. 1962. Anterior femoral curvature: its utility for race identification. *Human Biology* 34:49-62.
- Tallman SD, Winburn AP. 2015. Forensic applicability of femur subtrochanteric shape to ancestry assessment in Thai and White American males. *Journal of Forensic Sciences* 60:1283-1289.
- Trotter M. 1934. Septal apertures in the humerus of American whites and negroes. *American Journal of Physical Anthropology* 19:213-227.
- Vogelsberg CCM. 2018. *Identification of deceased border crossers: Investigating spatial and skeletal attributes of Migrant Deaths*. [doctoral dissertation]. East Lansing, MI: Michigan State University.
- Wrobel G, Hair A, Biggs J. 2018. The Maya crania photogrammetry project. Program of the 83rd Annual Meeting of the Society for American Archaeology, 92.
- Yukiy N. 2017. *Craniometric variation of modern Asian and Hispanic individuals using multivariate analysis*. [master's thesis]. San Marcos, TX: Texas State University.

# 10

## Estimación de la Ancestría Biogeográfica Mediante Caracteres Cuantitativos Craneofaciales

Quinto-Sánchez Mirsha<sup>1</sup>

Jorge Alfredo Gómez Valdés<sup>2</sup>

Palabras clave: modelo de biodistancia, variación craneofacial, 3D-ID, Ancestrees

### RESUMEN

El presente capítulo realiza una introducción a aspectos teóricos de la estimación de la ancestría biogeográfica, sus modelos, restricciones y metodologías. Proponiendo un esquema general de pasos para la realización de un programa de investigación y praxis de la ancestría en contextos forenses. Todo ello bajo un modelo teórico de genética cuantitativa, modelos de biodistancia, morfometría tradicional y geométrica, y el uso de estadística multivariada. Se presentan los programas que más se emplean para calcular la ancestría y se validan dos de ellos con una muestra referencia de cráneos mexicanos (Ancestrees y 3D-ID), en el marco de los grupos denominados hispanos o latinos. Como un punto total en la búsqueda de personas no identificadas, en el marco de una correcta o precisa estimación del perfil biológico, la ancestría, permitirá una mayor probabilidad de identificación (Spradley y Weisensee, 2013), al ayudar, por ejemplo, a reducir el conjunto de posibles coincidencias con personas desaparecidas (Christensen et al., 2012).

---

1 Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF), Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.  
2 Posgrado en Antropología Física, Escuela Nacional de Antropología e Historia.

## ABSTRACT

This chapter makes an introduction to theoretical aspects of the estimation of biogeographic ancestry, its models, restrictions, and methodologies. Proposing a general scheme of steps for research and praxis program of ancestry estimation in forensic contexts. This under a quantitative genetics theoretical model, biodistance models, traditional and geometric morphometrics, and the use of multivariate statistics. The most used programs for the calculation of ancestry (Ancestry and 3D-ID) were used to validate its use through a sample of Mexican skulls, to analyze the resulting classifications. As a key point in the search for missing people, within the framework of correct or accurate estimation of the biological profile, ancestry, will allow a greater probability of identification, and helping, for example, to reduce the set of possible coincidences with missing persons.

En el presente capítulo se tiene el objetivo de introducir a los usuarios en los aspectos teóricos de la ancestría, sus modelos, restricciones y metodologías, y, tangencialmente, validar dos métodos con una muestra referencial de cráneos mexicanos (Ancestry y 3D-ID), siempre para caracteres continuos craneofaciales en el marco de los grupos denominados hispanos o latinos.

## EL BIOSÓLIDO CRANEOFACIAL COMO UN FENOTIPO COMPLEJO

En la literatura científica se ha reportado que el cráneo, con especial atención a la cara y los dientes, con uno de los mejores elementos para la inferencia de la ancestría durante el proceso de estimación del perfil biológico (Adams, 2007). La elección del complejo craneofacial sobre otras estructuras se basa en el conocimiento del su heredabilidad (Martínez-abadías et al., 2009) y en la proporcionalidad de la varianza genética con la fenotípica en grandes grupos humanos (Relethford, 2004) que pese a que existen contextos de cambio secular demostrado (Jantz y Meadows Jantz, 2000; Jantz, 2001), dichos cambios parecen no afectar la inferencia de la afinidad biológica de un individuo.

Si bien no es el objetivo del presente capítulo pero hay que destacar que varias publicaciones destacan la inferencia ancestral por medio del esqueleto poscranial para caracteres métricos y morfoscópicos (e.g. Harcourt-Smith et al., 2008; Spradley, 2014; Liebenberg et al., 2015), rubro no muy atendido para poblaciones mexicanas o latinoamericanas.

El cráneo es un complejo constituido por 27 huesos, la mayoría pareados y algunos elementos únicos (White y Folkens 2000), por lo que es considerada la porción más compleja o el elemento óseo de suma importancia (White y

Folkens 2000; 45, Testut 1954;119). De manera general, en el cráneo se pueden reconocer tres grandes regiones: espacocráneo, neurocráneo y la base. En el esqueleto facial se halla situado en la parte anterior e inferior de la cabeza, está dividido en dos porciones esqueleto facial o viscerocráneo y mandíbula (Latarjet y Ruiz Liard, 2008). De esta manera, la cara está representada por 13 huesos mayores, el maxilar, nasal, zigomático, lacrimal, palatino, concha nasal, vómer y la mandíbula, algunos autores incluyen al hueso hioides como parte de la cráneo por su derivación embrional (Schwartz, 1995).

En cuanto al tejido blando, se ha dividido en tercios (superior, medio e inferior), en estructuras (ojos, orejas, boca, nariz, mejillas, frente) y otros autores lo han diferenciado en dos secciones (superior e inferior) (Rouvière y Delmas, 2005). La parte superior incluye cuatro regiones principales: dos medias, la región de la nariz y la región de las cavidades nasales y dos laterales, las regiones orbitarias. En la parte inferior o bucofaringea de la cara se incluye un gran número de regiones dispuestas alrededor de la cavidad oral y de la faringe (Rouvière y Delmas, 2005). Éstas son: región mentoniana, de la mejilla, masetérica, infratemporal, palatina, ionsilar, retrofaringea, laterofaringea (subdividida en retroestíleo y preestíleo) y suelo de la boca (lingual, sublingual y suprahioides).

Finalmente, es importante destacar la organización modular del complejo craneofacial mediante la teoría de componentes funcionales del cráneo, donde cada módulo craneofacial presenta una independencia funcional relativa (Van Der Klaauw, 1945; Pucciarelli, 2008), que difieren en tamaño, posición y agrupamiento. Luego entonces, cada componente o módulo debería estar formado de tal manera que su participación en estructura y función en el cráneo, se exprese con respecto a todas las otras partes que lo integran, es decir su integración morfológica (Olson



y Miller, 1958). Recientemente, se ha sugerido que los módulos faciales funcionales son los que mejor representan la covariación del rostro, estando dividida por módulos de la boca, nariz, ojos, y orejas (Quinto-Sánchez et al. 2018). Lo anterior prueba que el cráneo es una estructura tanto modular como integrada, retomar estas bases teóricas son de importancia para la caracterización de la ancestría biogeográfica.

## LA CABEZA HUMANA COMO FUENTE DE INFORMACIÓN FORENSE

La complejidad del cráneo, respecto a su evolución, desarrollo y función representa un reto al realizar caracterizaciones usando este carácter fenotípico. En el ámbito forense, la complejidad del complejo craneofacial (Lieberman, 2011), es la causa de que muchos autores refieran la estimación de la ancestría biogeográfica como controversial (Spradley y Weisensee, 2013), porque no es un carácter inequívoco para ancestría, sino que también contiene información de dimorfismo sexual (Rosas y Bastir, 2002; Claes et al., 2012), variación de la edad (Enlow y Hans, 1996; Wellens et al., 2013), variación secular (Kimmerle y Jantz, 2005), de asimetría (Quinto-Sánchez et al., 2015), todo ello en un continuo de variación asociada a impacto ambiental por dietas o hábitos culturales (Paschetta, 2010; Noback et al., 2011; Paschetta y González-José, 2012). Es un común que la ancestría sea un rubro minusvalorado en la construcción del perfil biológico de un individuo no identificado, ya que su inferencia, como se podrá revisar a continuación requiere de conocimientos de estadística multivariada y análisis morfométricos avanzados.

El uso de caracteres craneofaciales en el ámbito forense se sustenta en que el cráneo contiene suficiente información biológica para inferir la historia biológica de poblaciones humanas por medio del análisis de la forma. Pudiendo analizar la variación intra e interpoblacional y estimar el grado de pertenencia a un grupo conocido *a priori* (Relethford, 2016). Lo que debería constituir información primaria en el proceso de construcción del perfil biológico de un individuo (Spradley y Weisensee, 2013), para derivar entonces, en estimaciones de sexo, edad y estatura población-específicos.

## MODELO GENERALIZADO DE BIODISTANCIA EN EL ANÁLISIS DE LA ANCESTRÍA BIOGEOGRÁFICA

Para entender el cálculo de la ancestría es necesario comprender modelo de expresión de los caracteres craneofaciales mediante modelos de genética cuantitativa, los posibles escenarios mediante procesos de microevolución y la aplicación de modelos generalizado de biodistancias.

Como primer punto, es importante decir que los polimorfismos son la fuente de variación de los caracteres cuantitativos en varios contextos: 1) ventaja del heterocigoto, 2) selección dependiente de la frecuencia, 3) ambiente heterogéneo, 4) transición o 5) mutación neutra (Falconer y Mackay 2001;44). También, no hay que olvidar que existen dos fenómenos genéticos básicos referentes a los caracteres métricos que se presentan con mayor frecuencia: a) el parecido entre los parientes y b) la depresión consanguínea/vigor híbrido o heterosis.

Otra predicción de la genética cuantitativa es que el grado de parecido varía con el carácter, siendo mayor entre unos que en otros. Por otro lado, el parecido entre hijos y padres proporciona las bases para la reproducción selectiva (Falconer y Mackay 2001; 107); que, al expresarse de manera integrada en el fenotipo, es rastreable mediante técnicas de morfometría geométrica craneofacial. En este capítulo, se retoma la idea del efecto medio (Falconer y Mackay 2001;115), que se emplea para deducir las propiedades de una población en conexión con su estructura familiar, aunque aquí se aplica en relación a las poblaciones; es decir, como una población “*transmite*” un valor a otra o viceversa según su historia biológica. Este proceso tiene un principio básico sobre la variabilidad génica: los padres (poblaciones) pasaran a la siguiente generación sus genes y no sus genotipos, y estos últimos se crean de nuevo en cada generación (ibidem 2001;115). En este sentido, la genética de un carácter métrico es el estudio de su variación, ya que es en términos de ésta como se formulan las preguntas genéticas fundamentales (Falconer y Mackay 2001; 125). Así, la magnitud relativa de estos componentes determina las propiedades genéticas de la población (ibdem).

Luego entonces, como el estudio de las relaciones genéticas a través de caracteres métricos se basa en la variación fenotípica, se tiene que revisar el Modelo infinitesimal de Fisher (Falco-

ner 1985) que explica que la varianza fenotípica [ $\sigma_p$ ] es el resultado de la integración dialéctica de la varianza genética [ $\sigma_g$ ] y la varianza ambiental [ $\sigma_e$ ], bajo el siguiente modelo:

$$\sigma_p = \sigma_g + \sigma_e$$

Entonces, al medir un fenotipo, como la cara o el cráneo, se esta obteniendo información compartida de ambos componentes: genético y ambiental. Este es un punto toral del por que la expresión de los atributos morfológicos es problemática en su análisis para la ancestría en contextos forenses: ésta responde a efectos multifactoriales (Gonzalez-Jose, 2006).

La inferencia de la ancestría comienza con la caracterización de las poblaciones a las que se empleará como referencia en la comparación de algún individuo no identificado. Para ello se identifican las variaciones o desviaciones fenotípicas respecto de las esperadas en función de un modelo genético particular (Martínez-Abadías, 2005; Martínez-Abadías et al., 2006). Para caracterizar las desviaciones fenotípicas se debe argumentar que existen dos procesos por medio de los que se da un cambio en las frecuencias génicas: los procesos sistemáticos y los dispersivos (Falconer y Mackay 2001; 23). En el caso del humano, y en el contexto de globalización relativa moderna, estudios de corte bioantropológico da aportes teóricos, basados en evidencia, a cerca de modelos sistemáticos; que son los que tienden a cambiar la frecuencia génica en una forma predecible tanto en cantidad como en sentido, abarcando tres procesos sistemáticos: la migración, la mutación y la selección (ibidem 2001;23). Así, a través del análisis de la variación fenotípica se establece la posible influencia de estos procesos sistemáticos en la población en estudio.

Para la construcción de los modelos de inferencia de la ancestría biogeográfica a través de caracteres cuantitativos se asume un modelo neutro o de proporcionalidad de la varianza fenotípica con la genética (Relethford, 2009), es decir, que de manera general el estudio del fenotipo puede ser un reflejo proporcional de las relaciones genéticas de las poblaciones en estudio.

Las fuerzas evolutivas como la migración o flujo génico ejercen efectos similares en los rasgos cuantitativos que los caracteres de herencia sencilla. Para el caso de la migración, el modelo supone que el cambio en la frecuencia génica depende de la cantidad de inmigrantes respecto a los nativos de la población receptora o de la población madre (Falconer y Mackay 2001; 23),

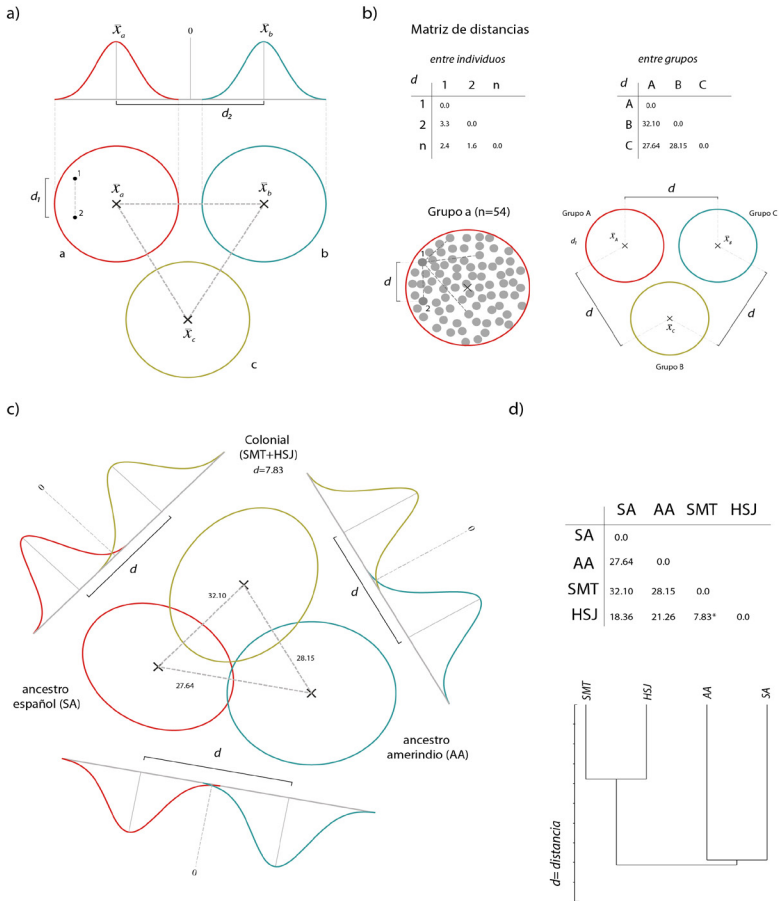
según sea la región del mundo en donde se este trabajando o las colecciones referencia a las cuales se tenga acceso. Luego entonces, la tasa de cambio de frecuencia génica en una población sujeta a inmigración depende de la tasa de inmigración y de la diferencia de frecuencia génica entre inmigrantes y nativos (ibidem 2001; 23). La migración, reduce las diferencias entre grupos, pero incrementa la varianza dentro de éstas (Königsberg 2000), lo cual puede ser mensurable entre poblaciones y usado como elemento en la inferencia del origen biogeográfico de un cráneo o cara de una persona no identificada. Empero, la complejidad de los movimientos poblacionales actuales dificulta la exploración del resultado fenotípico básico que se esperaría bajo el efecto de un determinado agente microevolutivo (Chakraborty 1990). Es tal la complejidad que, por ahora es razonable trabajar en una escala macro-poblacional.

Luego entonces, el cálculo de la ancestría biogeográfica se basa en la capacidad de identificación de patrones fenotípicos operantes en la morfología en estudio, respecto de un clasificador de geoespacial (Martínez-Abadías et al., 2006), en un entorno estadístico multivariante.

Aquí es donde la teórica de genética cuantitativa se une a la teoría de biodistancia en el sentido de la necesidad de caracterizar cómo esa variación o varianza medida en un protocolo en poblaciones de referencia se usa para conocer reflejar la relación de población (similitud / disimilitud) mediante la aplicación de métodos estadísticos multivariados, esto es, el análisis de distancia biológica o biodistancia (Pilloud y Hefner, 2016). El principio central de la biodistancia es que las personas que comparten características morfológicas similares, comparten una ascendencia común (parecido entre los parientes de la genética cuantitativa) en comparación con los grupos con menos características compartidas (Hefner et al., 2016), principio que en genética de poblaciones es llamado modelo teórico de aislamiento por distancia (*theoretical insolation-by-distance model*), siendo la forma más simple de explicar el aislamiento genético entre poblaciones, un modelo nulo (figura 1a). Dicho modelo se refiere a un patrón genético poblacional donde la diferenciación genética entre individuos aumenta a medida que aumenta la distancia geográfica, es decir existe una acumulación de variación genética local bajo una dispersión geográfica limitada (Felsenstein, 1975). Es importante enfatizar que este es un modelo

nulo, por lo que es raramente observado en la especie humana y mucho menos en poblaciones recientes.

El modelo nulo se basa en la comparación de tres morfoespacios de poblaciones hipotéticas en isotropía, es decir homocedasticidad (figura 1a). Además, la distribución de las poblaciones no se superpone (elipse de varianza al 100%), lo que permite obtener patrones de dis-



**Figura 1.** Modelo general del cálculo de la ancestría biogeográfica mediante el modelo de biodistancia.

a) Modelo nulo de biodistancia fenotípica. b) Cálculo de biodistancias entre cada par de individuos (e.g. Grupo a con n=54) o poblaciones-grupos (e.g. modelo nulo isotrópico para los grupos a, b y c) y su agregado en matrices de distancias, c) Modelo no-isotrópico del cálculo de biodistancias y generación de modelos de discriminación entre grupos o poblaciones, gráfico modificado de Martínez-Abadías et al 2005 para la explicación del mestizaje en México. d) Matriz de biodistancias entre cada población y un cluster UPGMA del mismo, ruta de análisis del modelo de estimación de la ancestría biogeográfica.

Fuente: Elaboración propia

crimación entre poblaciones robustos (100% de clasificaciones correctas). Otra característica del modelo nulo es la equidistancia entre los centroides o medias de los morfoespacios de cada población hipotética. La proyección de las curvas de distribución en histogramas permite ejemplificar el modelo lineal discriminante comúnmente empleado en el cálculo de la ancestría biogeográfica (figura 1a). Existen varias biodistancias que comúnmente son empleadas en biología antropológica o forense (figura 1b), la primera es la distancia entre individuos (izquierda), muchos de los modelos de identificación humana basan sus estimaciones en la mínima distancia fenotípica entre individuos. La segunda es la distancia entre medias o centroides de las poblaciones en estudio (derecha), en la cual se basan la mayoría de los métodos para la estimación de la ancestría biogeográfica (figura 1b). Estas distancias pueden analizarse mediante matrices entre individuos o poblaciones (grupos) y su posterior análisis en modelos estadísticos multivariados (figura 1b).

Los análisis de biodistancias son herramientas comunes en la biología de poblaciones, donde se han propuesto una serie de medidas de distancia para examinar las diferencias genéticas y/o fenotípicas entre pares de poblaciones (Relethford, 2016). Por ejemplo, Williams-Blangero y Blangero (1989) evidenciaron que la distancia de Mahalanobis es similar a la distancia genética mínima esperada bajo el modelo de efectos iguales y aditivos, si la heredabilidad ( $h^2$ ) de todos los rasgos es igual a uno por ende, en términos generales, podemos esperar que al analizar la distancia de Mahalanobis en un morfoespacio de forma, la ancestría de una persona este dada por la asignación por un criterio de discriminación lineal simple a un grupo establecido *a priori*. Gracias a que en el estudio de los caracteres métricos, es posible hacer uso de las propiedades de la distribución normal (Falconer y Mackay 2001;105), los modelos de discriminación lineal simple son muy socorridos, aunque no se limita a estos acercamientos. Como ejemplo, el modelo nulo, se puede aplicar a un conjunto de datos real, con tres grupos analizados (figura 1c, d). Al explorar el morfoespacio de forma de dichas poblaciones y calculadas sus distancias de Mahalanobis, se observa la discriminación entre cada par de grupos (figura 1c), donde en general, podemos entonces aplicar el cálculo de la ancestría entre cada par de poblaciones a comparar intentando saber a que grupo, con mayor proba-

bilidad, pertenece un individuo no identificado (figura 1c, d). En este caso se construyó, a través de la matriz de biodistancias, un clúster UPGMA (figura 1d).

Los modelos libre y restringido propuesto por Relethford y Lees (1982), son los modelos de biodistancia base principal de este enfoque, ya que permiten estudiar la diferenciación dentro y entre poblaciones, y traducirlos en una aplicación forense. Como se ha mencionado primero como una caracterización biológica poblacional basada en la estructura y variación de las poblaciones referencia. El modelo restringido (Relethford y Lees, 1982) otorga información de la estructura poblacional además de poder realizar comparaciones entre poblaciones, haciendo una inferencia de las relaciones genético-poblacionales a partir de los caracteres cuantitativos, punto total en la praxis forense. Luego entonces, con esta base conceptual, se define el diseño experimental de la inferencia de la ancestría como la aplicación de los principios sobre la variabilidad biológica modelo libre (Relethford y Lees 1982), a partir de las medidas de similitud fenotípica, sin explorar las causas que explican esta variación (González-José 2006).

La estimación de ancestría utilizando datos métricos con un marco estadístico fue presentada por primera vez por Karl Pearson en 1926 a través del coeficiente de semejanza racial. Posteriormente, En 1962, Giles y Elliot (1962) aplicaron el análisis de función discriminante (DFA) a tres grupos: “nativo americano”, “americano negro” y “americano blanco”, y proporcionaron una aplicación de usuario final. En 1993, se publica el FORDISC una interfaz gráfica que incluye poblaciones forenses de referencia y la base de datos de Howells (Ousley y Jantz 2005). Actualmente, se esta migrando a plataformas bayesianas y de *machine learning* con árboles de decisión no lineales (Navega et al., 2015).

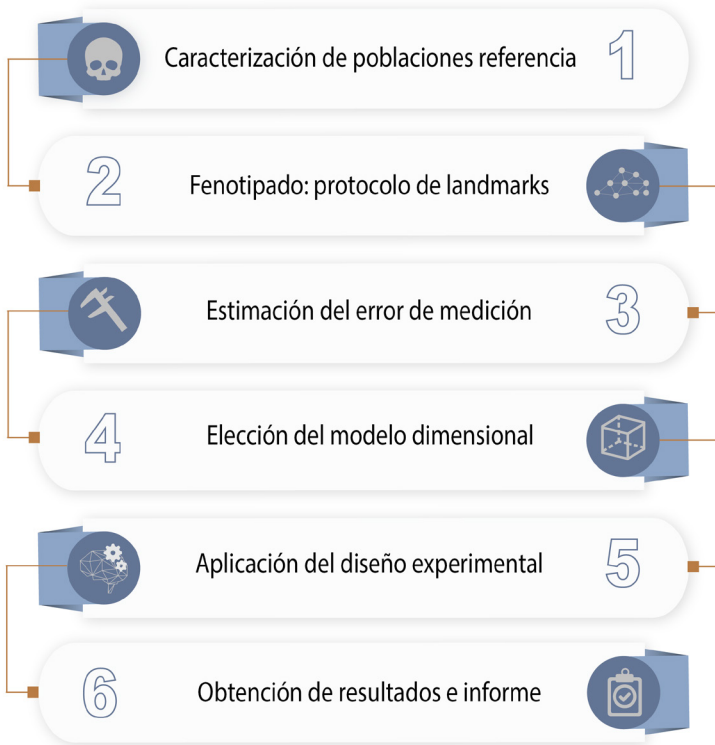
Sintetizando, se puede decir que la aplicación de las técnicas de morfometría geométrica y estadística multivariada basadas en rasgos craneofaciales permite la reconstrucción de los patrones de biodistancias (microevolución) y por ende genéticas de poblaciones humanas, aun cuando éstos puedan estar ensombrecidos por la naturaleza fenotípica de los rasgos craneofaciales (Martínez-Abadías, 2005).

## METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA ANCESTRÍA BIOGEOGRÁFICA

El cálculo de la ancestría biogeográfica en contextos forenses tendría seis pasos en su construcción (figura 2). El primer punto es el conocimiento, caracterización y sistematización de todas las bases de datos existentes en la literatura, potencialmente útiles para la estimación de la ancestría biogeográfica en el contexto forense. La generación, caracterización y reporte de nuevas bases referencia en regiones sin datos es prioridad. Por ejemplo, en la frontera México-EUA en el contexto de la crisis de migración de Méxi-

co-Centroamérica, resulta llamativo el vacío de datos que hay para la región.

El siguiente punto, es la definición de un protocolo de fenotipado 2D o 3D que me permita emplear la mayor cantidad de poblaciones para comparar. Después, la caracterización del error de medición de manera sistemática es una necesidad fundamental en los laboratorios forenses (ver más abajo), su reporte en el informe pericial es un requerimiento, así, el perito asegura que los datos reportados son producto de las relaciones fenotípicas realizadas y no un efecto de mediciones mal realizadas. Posteriormente, la elección del modelo dimensional a emplear, es



**Figura 2** Programa de implementación del cálculo de ancestral biogeográfica: seis pasos.

1, conocimiento, caracterización y sistematización de todas las bases de datos existentes en la literatura. 2, definición de un protocolo de fenotipado 2D o 3D que me permita emplear la mayor cantidad de poblaciones para comparar. 3, caracterización del error de medición de manera sistemática. 4, elección del modelo dimensional 2D o 3D. 5, la aplicación del diseño experimental definido. 6, Obtención de Resultados e informe.

Fuente: *Elaboración propia*

el siguiente punto de la metodología: distancias directas, modelo estadístico, validaciones, etc. La aplicación del diseño experimental es el paso siguiente y la obtención de resultados e integración del informe pericial es el paso final de la metodología. Existe un punto importante y es la validación de los resultados, este sería parte de este último rubro y requiere la revisión de un especialista independiente para validar que los datos son confiables, esta práctica reduce errores y aumenta la repetibilidad de las pruebas.

## FENOTIPADO CRANEOFACIAL: PROTOCOLOS DE LANDMARKS

Sobre la compleja anatomía craneofacial es que los forenses buscan protocolos de puntos anatómicos que, mediante el análisis de la forma, estimen de manera precisa la probabilidad de ancestría de un individuo desconocido. Para tal fin se han diseñado protocolos de puntos o *landmarks* realizando un proceso de obtención o captura de la forma que se denominada fenotipado, concepto que puede aplicarse a cualquier parte del cuerpo.

Para ello se emplean *landmarks* que son *loci* anatómicos discretos que pueden ser reconocidos como el mismo *loci* en todos los organismos en estudio (Zelditch et al., 2004), es decir, presentan la propiedad de ser homólogos. Pueden ser puntos bi o tridimensionales y registran la posición de un rasgo en particular en un objeto de interés y pueden ser de tres tipos: *landmark* tipo I (tradicionales o anatómicos), II (fuzzy o matemáticos) y III (Construidos o *Pseudolandmarks*).

Se ha reportado que existen tres tipos de categorías para elegir un protocolo o *set* de *landmarks*: a) sin algún criterio específico, b) por un criterio de facilidad de toma y c) para cubrir alguna región craneofacial particular (Dudzik y Kolatorowicz, 2016). Aquí podríamos agregar una cuarta que sería la adopción de un sistema o protocolo de *landmarks* por adecuación a una plataforma o *software* a emplear (repetibilidad).

Empero, existe la necesidad de determinar el rango de puntos óptimo para la inferencia de la ancestría como coloquialmente lo ha propuesto Ross et al., (2004) “*capturar la morfología craneal de forma general*”. En MG, el término que hace referencia a este fenómeno es el de consistencia, aunque en muchos casos se toma como sinonimia de repetibilidad y/o reproduci-

bilidad, por equipararse a la precisión en la digitalización, a la congruencia entre los datos morfométricos recopilados en diferentes modos o a diferentes métodos de superposición (Watanabe, 2018). Sin embargo, para el caso del contexto de la teoría de muestreo, consistencia, sería el punto en el cual los datos de forma convergen a los valores verdaderos como  $n \rightarrow \infty$ , donde  $n$  denota el número de puntos de referencia (Watanabe, 2018). Se ha evaluado poco el efecto del número de *landmarks* en captura de un fenotipo, un método para la evaluación de este efecto se ha denominado *Landmark Sampling Evaluation Curve* (LaSEC). Permite determinar si un conjunto de *landmarks* logran estacionalidad al capturar información de forma y tamaño (ver Watanabe, 2018). El método LaSEC ayudará a conocer la eficiencia estadística de *landmarks*, donde la varianza alrededor del valor estimado disminuye a medida que  $n \rightarrow \infty$ , donde  $n$  significa el número de *landmarks*.

De igual manera, hay que resaltar lo reportado por Gonzalez-Jose, (2006) en la inferencia de las relaciones poblacionales humanas mediante el fenotipo, a pesar de que el fenotipo craneofacial es un modelo complejo de expresión, si se estudia de manera generalizada y/o global; los cambios resultantes de procesos microevolutivos como adecuación al ambiente, selección o flujo genético no alteran la estructura poblacional reflejada en morfología craneofacial global (Relethford, 2004). Lo que puede ser muy certero para regiones grandes a nivel mundial, pero poco eficiente a nivel micro o local. Para los fines del cálculo de ancestría se han generado protocolos de fenotipado que intentan captar la forma y tamaño del cráneo o cara de manera global o general, con la finalidad de minimizar el efecto ambiental [ $\sigma_e$ ], y así justificar que existe una proporcionalidad relativa entre la matriz de varianza fenotípica y la genética (Relethford, 2004, 2009). Caso contrario cuando se estudia una región del cráneo aislada (e.g. aparato masticatorio o mandíbula) donde se sobrexpresaría el componente ambiental del mismo. Un ejemplo de esto podrían ser los estudios de los efectos de la masticación en el cráneo (e.g. Paschetta, 2010); en éste caso la discriminación de poblaciones no guardará fielmente la estructura poblacional.

Respecto del número de individuos en una muestra, Kent y Mardia, (1997) examinaron la consistencia en la estimación de la forma media, mediante la superposición generalizada de Pro-

crustes, a medida que se tenían mayor número muestral, lo que demostró que el muestreo es estadísticamente consistente con respecto a la forma media (ver Cardini et al., 2015).

Finalmente, es importante definir la elección de *landmarks* bilaterales, ya que si se piensa en simetría como modelo nulo y se toma solo un lado de la cara o cráneo, se puede tener sobreestimaciones de cambio en la forma sobre la línea media (Cardini, 2016, 2017)

En el caso del presente manuscrito, la elección del set de puntos estará en función a lo requerido para el programa o plataforma de análisis, por ejemplo, se emplean protocolos de 34 (Slice y Ross, 2009), 22 en el programa COLIPR u 80 *landmarks* (Spradley y Jantz, 2016), para una detallada revisión protocolar puede referirse al trabajo de Urbanova y Ross, (2016). La elección de protocolos de *landmarks* compatibles con las plataformas disponibles en la comunidad científica es prioritario, después la adecuación a determinado programa es fácil.

Respecto de la inferencia en datos faciales, se han empleado protocolos faciales de 34 *landmarks* intentando reflejar las principales características faciales, existen algunas evidencias de la relación de la variación fenotípica facial y la ancestría genética, por ejemplo, Ruiz-Linares et al., (2014) analizando la variación facial de mestizos latinoamericanos logró identificar asociaciones entre los ejes de variación de un componente principales y el eje de ancestría europeo-americano en lo relativo a la morfología de labios y boca. Todo ello mediante el uso de un protocolo de 34 puntos faciales 3D. Recientemente, Quinto-Sánchez et al., (2018) explorando los patrones del desarrollo facial inferidos desde modularidad, integración morfológica y asimetría fluctuante, caracterizando que en el componente simétrico de la forma la cara presenta un cambio asociado a la forma de los ojos, boca y barbilla en el primer componente principal. En dicho análisis se presenta la forma media o consenso por cada grupo ancestral, europeo, americano y africano. Asimismo, es caracterizado el espacio asimétrico de la forma, donde las caras de los individuos europeos tienen a presentar asimetría direccional izquierda, en contraposición a los amerindios que presentan asimetría direccional derecha, finalmente, los mestizos no presentarían patrón direccional de asimetría.

Toda esta evidencia da cuenta de las necesidades que un protocolo de puntos debe definir, para hacerlos lo más compatible posible. Como

punto de entrada se recomienda el protocolo de 34 *landmarks* 3D de Slice y Ross, (2009) y Quinto-Sánchez et al., (2018) para caras, con los que siempre puede derivarse distancias lineales simples. Con este set de *landmarks* podrían calcularse 5984 distancias entre cada par de puntos sin repeticiones, lo que da una gran opción de análisis.

## ERROR DE MEDICIÓN

El error es la desviación del resultado en una medición al valor verdadero de esta (Merilä y Björklund, 1995), algunas comparaciones de métodos de medición morfometría manual y digital, muestran que estos últimos presentan mayor precisión y están menormente influenciados por factores que aumentan el error de edición (Muñoz-Muñoz y Perpiñán, 2010; Muñoz-Muñoz et al., 2011), y mejor aun cuando estos son realizados en CTscans (Richtsmeier et al., 1995a). Por ello la morfometría geométrica, ha implementado algún método de cálculo del error de medición, mismo que deberá presentar un umbral de error bajo, es decir, menor al 2% que se establece como umbral clásico y aceptado en morfometría (Richtsmeier et al., 1995a; Singleton, 2002). Un dictamen donde se reporten datos métricos, inclusive morfoscópicos, debe contener una caracterización del error.

## MODELOS PARA LA INFERENCIA DE ANCESTRÍA BIOGEOGRÁFICA

A grandes rasgos los modelos para la inferencia de la ancestría por medio del uso de caracteres cuantitativos están enfocados en dos grandes áreas (figura 3): morfométricos multivariados y en aquellos basados en morfometría geométrica. En el primer caso, se emplean un conjunto de mediciones directas, regularmente basadas en definiciones clásicas de Martin, reasignadas por Howells. Además, del empleo de estadística multivariada. Estos métodos a pesar de usar medidas directas se diferencian de la visión clásica de la morfología, que es más tipologista, por el análisis multivariado y la forma de descripción de la forma (Lestrel, 2000). En este primer grupo se emplean 34 mediciones craneales clásicas, descritas en Buikstra y Ubelaker (1994), basadas en las definiciones de clásicas de Martin. Estas distancias son las que sigue el Banco de Datos Forenses (FDB, Moore-Jansen et al. 1994). Para

algunos *softwares* como CRANID, de Osteoware, las mediciones craneales siguen las definiciones de Howells (1973) para 60 mediciones que incluyen casi todas las mediciones craneales de FDB, así como subtenosos, fracciones y radios. Se debe hacer énfasis en cuidar las definiciones empleadas, ya que no todas las bases empleadas siguen la misma definición en la toma de los puntos. Por ello, antes de decidir emplear algún *software* es necesario la revisión de las definiciones de los *landmarks*. Una referencia importante es el *Data Collection procedures for forensic skeletal material 2.0* (Langley et al., 2016) donde se describe una serie de enmiendas a diferentes protocolos de *landmarks* de un sin número de autores, lo que permite una gran repetibilidad y reproducibilidad en el uso de los *landmarks* craneofaciales.

Respecto de los protocolos de morfometría geométrica (ver figura 3), comúnmente las coordenadas de *landmarks* se han capturado por medio de una tableta de digitalización o por medio del uso de un Microscribe, brazo mecánico que permite la interfaz entre éste y la computadora para la obtención de coordenadas en tres dimensiones de un objeto en particular. Existen numerosas ventajas del uso de microscribe y de morfometría geométrica, sobre las morfometría clásicas o multivariada, la principal es que mediante el uso de distancia, ángulos o curvas se pierde la información de la forma biológica en estudio, ya que las relaciones espaciales no son preservadas (Richtsmeier et al., 2002), consiguiéndose clasificaciones taxonómicas con

escaso o nulo valor de información biológica (Pucciarelli, 2008). De igual manera mediante la obtención de coordenadas de *landmarks* es posible derivar distancias de Howells con el uso de la fórmula de distancia entre dos puntos en 2D o 3D. Los resultados de la morfometría geométrica sobre la morfometría multivariada radican en la mejor discriminación del grupo, por lo que representan una mejora en la aplicación forense.

### SISTEMA DE CLASIFICACIÓN: PRINCIPALES ARISTAS

El problema principal de la inferencia de la ancestría biogeográfica es que se requiere categorizar o discretizar la variación fenotípica craneofacial que es continua, reportando porcentajes de clasificación precisos (e.g. de más del 90%). Lo primero es decir que la clasificación craneométrica no es, *per se*, altamente discriminante. Es decir, por aspectos de la variación observada en el fenotipo craneofacial el poder de discriminación entre grupos relacionados no será del orden de 99%. Empero, los especialistas forenses han establecido metodologías para la asignación de ancestría en función de un porcentaje de clasificación correcto. Un aspecto importante es definir que la antropología forense moderna sustituye la desacreditada definición tipológica de una población, donde se reconocen un cierto conjunto de características o rasgos identitarios como un tipo que si presentan o no este carácter único son parte de una población (Ubelaker 2003); en la biología la concepción tipologista, es aún

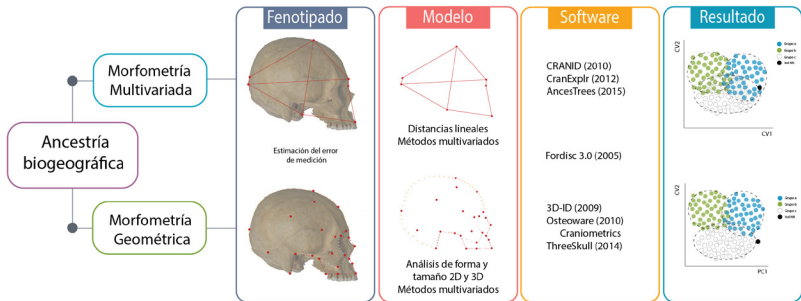


Figura 3. Modelos para el cálculo de la ancestría con caracteres cuantitativos

a) morfometría multivariada y b) morfometría geométrica. Cada uno de ellos presentan los pasos de la figura 2. Aquí se resalta, el fenotipado, el modelo a elegir, el software disponible y los resultados.

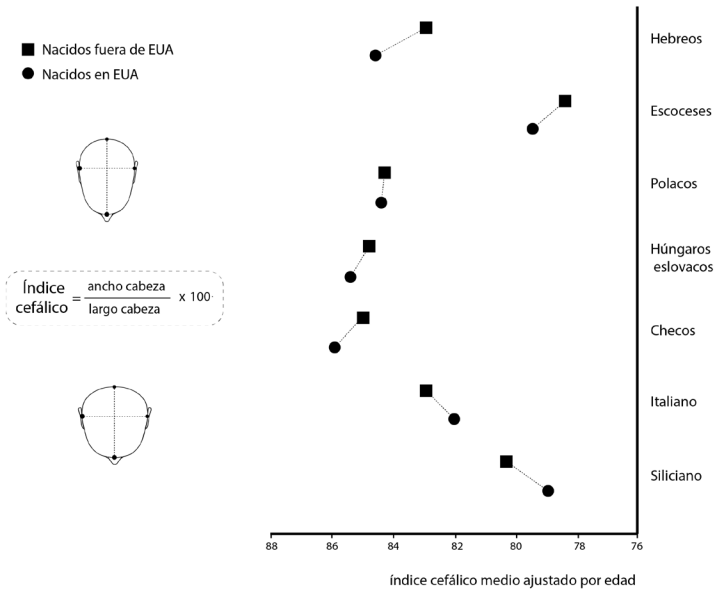
Fuente: Elaboración propia



socorrida por un gran número de antropólogos físicos a pesar de las pruebas aportadas desde numerosas disciplinas (Gould 2003, Long et al. 2009, Caspari 2009, Relethford 2009, Edgar y Hunley 2009). A cambio de este concepto, se ha instaurado la afinidad biológica poblacional, que reconoce que todos los niveles de diversificación biológica incorporan un rango de variación, y ningún individuo aislado o grupo de individuos, es probable que contenga la dotación completa de rasgos (Ubelaker 2003;151). Este concepto también permite entender la gran necesidad de la generación de colecciones osteológicas bastas y diversas, para cubrir la gran diversidad fenotípica moderna. En este sentido el concepto de población dependencia, que es la variabilidad que un sistema de clasificación estadística puede tener respecto de la población en la que haya sido desarrollada. Por ejemplo, los métodos para determinación de sexo y edad en poblaciones europeas y estadounidenses, tendrán un error considerable en su aplicación en el ámbito forense por las diferencias de los puntos de corte en un análisis discriminante (e.g. Hora y Sládek, 2018). Como lo retratan Ubelaker y DeGaglia, (2017) y como se ha desarrollado arriba, dicha variación puede provenir de los patrones de crecimiento y desarrollo, que expresan de manera diferencial y no lineal la expresión de las cargas genéticas y el efecto ambiental. Luego entonces, urge la generación de bases de datos específicos, necesidad de resulta en el contexto latinoamericano, para poder eliminar del campo antropológico el concepto de "hispano". Por ejemplo, la variabilidad de poblaciones centroamericanas esta nulamente representada, únicamente la base de programa 3D ID contiene datos para Guatemala. Muchos de los cráneos considerados como mexicanos, fueron asignados así por médicos del Pima Country en Arizona, como se describe en la publicación "*Por lo tanto, las muestras hispanas pueden considerarse predominantemente mexicanas*" (Spradley y Jantz, 2016), dicha publicación incluye individuos de la colección osteológica de Yucatan (Chi-Keb et al., 2013). El problema de la clasificación de cráneos hispanos o latinos ya ha sido abordada, siempre llegando a la conclusión de la baja representatividad de las muestras empleadas, por lo cual cualquier metodología de clasificación generará errores de asignación grandes y bajas tasas de clasificaciones correctas (Urbanova y Ross, 2016), donde se enfatiza la necesidad del estudio de la variación morfológica regional-local.

Otro punto importante es pensar en los cambios seculares (es decir, los cambios generacionales a corto plazo o los cambios microevolutivos) que se han documentado en el cráneo (figura 4). Estos estudios sugieren que los cambios seculares probablemente se deben a una combinación de factores que incluyen el flujo genético (mestizaje), la selección y los factores ambientales, en lugar de los factores ambientales únicamente. Además, en un estudio de la variación craneométrica mundial, Relethford (2004) sugirió que los cambios seculares a corto plazo en el cráneo resultantes del ambiente, la selección y / o el flujo genético no alteran la estructura poblacional a largo plazo reflejada en morfología craneofacial global. La estructura de la población se refiere a los factores que afectan la elección de la pareja y la distancia genética entre los grupos de población (Mielke et al. 2011). Los estudios de cambio secular craneofacial en los Estados Unidos, tanto en los "blancos estadounidenses" como en los "negros", por Jantz (2001), Jantz y Meadows Jantz (2000) y Wescott y Jantz (2005) encontraron que los cambios seculares más significativos se producen en la bóveda (figura 4). También sugirieron que la bóveda craneal está correlacionada positiva y significativamente con el año de nacimiento (Jantz 2001; Jantz y Meadows Jantz 2000; Wescott y Jantz 2005).

La visión actual reside en la idea de tener en cuenta que la variabilidad humana se encuentra mayoritariamente concentrada dentro de las poblaciones 85-90% y, únicamente, entre el 15-10% entre los grupos, patrón ya descrito por (Lewontin, 1972) y reevaluado por (Edwards, 2003) para caracteres genéticos. En un análisis reciente por Fst, en 20 poblaciones, se concluye que mayor variación se encuentra dentro de estos grupos, mientras que solo entre el 10-15% entre las poblaciones (Mielke et al., 2011). Otros autores, interpretan este dato como un problema para distinguir morfológicamente entre grupos poblacionales a un nivel más pequeño, como el caso de México y Centroamérica, respecto de aquellos que están separados continentalmente (Williams et al. 2005). Empero, Bamshad et al., (2003, 2004), concluyen que a pesar del hecho de que solo se encuentra entre el 10% y el 15% de variación entre los grupos, utilizando diversos tipos de rasgos cuantitativos, esta variación está estructurada de manera que es informativa para la ancestría geográfica.



**Figura 4.** Cambio secular asociado del índice cefálico en niños de inmigrantes europeos nacidos en EUA comparados con niños nacidos en Europa. Valores de índice cefálico ajustados para la edad.

Fuente: Modificado de Gravlee et al., (2003).

## CÁLCULO DE ANCESTRÍA BIOGEOGRÁFICA MEDIANTE PROGRAMAS INFORMÁTICOS

Para el cálculo de la ancestría biogeográfica existen una serie de *softwares* o plataformas informáticas con las que un perito o usuario en general (figura 4, *software*), puede realizar una estimación de ancestría sobre algún individuo en cuestión empleando un set de distancias lineales o coordenadas de *landmarks*. Para la mayoría de los programas, se han realizado pruebas de validación en diversas poblaciones, probando las clasificaciones que el programa determina en individuos con ancestría conocida. En este sentido, aquí como parte del ejercicio práctico de este capítulo se realiza una validación para población

mexicana de dos programas libres para el cálculo de la ancestría: Ancestrees<sup>3</sup>, que ocupa distancias basadas en Howells y 3D ID<sup>4</sup>, con coordenadas de *landmarks* 3D. Se ha empleado *software* libre, ya que cualquier persona a lo largo del orbe podría ocuparle sin problema alguno, incluidas sus bases de datos, ello permite alta reproducibilidad y da acceso libre a datos.

### Ancestrees

Recientemente se han presentado modelos para la estimación de la ancestría biogeográfica por medio del uso de caracteres métricos, la plataforma es denominada Ancestrees (Navega et al., 2015) y está basada en árboles de decisión aleatorios, empleando algoritmos conjuntos de

3 [osteomics.com/Ancestrees/](http://osteomics.com/Ancestrees/)

4 [3d-id.org/](http://3d-id.org/)

*machine learning* denominados *random forest*, para clasificar al cráneo humano. El algoritmo *random forest* crea conjuntos de clasificadores por árboles de decisión, una técnica de clasificación no lineal y no paramétrica.

El programa se validó en 128 cráneos adultos de las siguientes colecciones: 1) la colección esquelética de los esclavos africanos de Valle da Gafaria, 2) la colección de cráneos de la Escuela de Medicina y 3) la Colección de esqueletos identificados del siglo XXI, éstas últimas curadas en la Universidad de Coimbra. El análisis tuvo dos fases, la primera fue realizar una estimación de la ascendencia, incluidos todos los grupos ancestrales de la base de datos. La segunda etapa, como reportan los autores, fue realizar una estimación de la ascendencia que incluía solo a los grupos ancestrales europeos y africanos. En el primer análisis de prueba, el 75% de los individuos de ascendencia africana y el 79.2% de los individuos de ascendencia europea se identificaron correctamente. El modelo que incluía solo grupos ancestrales africanos y europeos tuvo un mejor desempeño: el 93.8% de todos los individuos fueron clasificados correctamente.

La plataforma online, [osteomics.com/AncesTrees](http://osteomics.com/AncesTrees), permite cargar hasta 30 medidas (tabla 1) para realizar el análisis, entre ellas se pueden tener valores perdidos. La limitante para el caso de las poblaciones mexicanas y latinoamericanas en general es que, al retomar las bases de datos de Howells, el continente está representado por las poblaciones Arikara en Dakota del Sur (n=69), Isla de Santa Cruz California (n=102) y Distrito Yauyos en Perú (n=110). Sin duda que la baja especificidad de las colecciones provoca que las clasificaciones realizadas opten por la población fenotípicamente más cercana, condicionando el resultado del análisis.

En una prueba realizada con 39 cráneos de mestizos mexicanos contemporáneos de la Ciudad de México, usando 19 de las distancias requeridas por la plataforma AncesTrees, resultó en un porcentaje de clasificación correcto del 30.7% (n=12), para Americanos del Norte y Sur. Siendo la clasificación de africano subsahariano la más frecuente (n=14), seguida por Americanos del Norte y Sur (n=12) y africanos del noreste (n=4), ninguno significativo estadísticamente ( $\alpha=0.05$ , tabla 2). Lo anterior, demuestra lo descrito arriba, el análisis realizado condiciona una clasificación, aunque el individuo no tenga relación próxima con el grupo asignado.

### 3D-ID

Ann Ross y Dennis Slice desarrollaron la plataforma 3D ID (3d-id.org), que basada en Java, permite obtener valores de diagnóstico en apoyo a estimaciones de sexo y ancestría por medio de coordenadas de *landmarks* 3D de 34 puntos craneométricos (Slice y Ross, 2009). Las poblaciones que incluye el *software* son: africana (n=27), africana americana (n=272), africanos brasileños (55), brasileños (125), circuncaribeños (26), colombianos (n=71), africanos del Este (36), asiáticos de Asia (28), europeo americano (378), europeo central (412), europeos del Este (2), europeos del Sureste (266), europeos de suroeste (446), brasileños japoneses (27), mesoamericanos (89), nigerianos (30), sudamericanos (82 Chile y Perú), sirios (43), africanos del oeste (93), reuniendo un total de 2372 individuos para análisis. El programa tiene una salida que informa la distancia al cuadrado de Mahalanobis desde la media desconocida de cada grupo de referencia disponible (en la que se basa la clasificación), las probabilidades posteriores de pertenencia ajustadas por muestra en todos los grupos de referencia y las medidas de tipicidad con respecto a cada uno de los grupos disponibles.

Cabe destacar que la Dra. Ann Ross liberó las coordenadas 3D de aquellos cráneos que midió, mismos que se pueden descargar como un archivo separado por comas (\*.csv) de la plataforma 3D-ID. Esto representa una apuesta en contra de los *softwares* cerrados y de pago. En el contexto mexicano y latinoamericano, son de sumo interés los datos de colecciones sudamericanas y mesoamericanas que la plataforma incluye.

En la prueba realizada con 68 cráneos de mestizos mexicanos realizando dos iteraciones en el programa, sin considerar el sexo y una más discriminando el sexo del individuo (ya que todos los cráneos son de sexo conocido). La validación resultó en 58 casos donde el sexo se clasificó de manera correcta, es decir un 85.3%. Únicamente el sexo de 10 individuos se clasificó de manera errónea, cuatro casos donde individuos femeninos los clasificó como masculinos y seis casos donde individuos masculinos fueron asignados como femeninos.

Después, en la iteración asignando el sexo, resultó en 21 clasificaciones correctas (30.88%) para el grupo mesoamericano, de ellas 18 son masculinos y tres casos femeninos (tabla 3). La siguiente clasificación más frecuente

fue europeo del sureste (n=12), japoneses brasileños (n=7), europeo central (n=6) y brasileños (n=6). Es importante decir que se presentaron tres casos donde la clasificación de los cráneos sin determinar el sexo resultó en una clasificación correcta al grupo mesoamericano, empero cuando se corrige el sexo, la clasificación ancestral es errónea. De igual manera, en el caso con-

trario, donde primariamente se había clasificado como erróneo, pero ajustando el sexo se clasifica como correcto, estos fueron tres casos (tabla 3).

Estos resultados permiten argumentar que, debido al fenómeno de subrepresentación de los individuos de poblaciones mexicanas, el modelo aplicado fuerza a clasificar los cráneos a

**Tabla 1.** Distancias craneales incluidas en la plataforma AncesTrees

Abreviatura	Denificación
1. GOL	Longitud glabella – opisthioncraneo
2. NOL	Longitud nasion – opisthioncraneo
3. BBH	Altura basion – bregma
4. XCB	Anchura craneal máxima (eurion – eurion)
5. XFB	Anchura frontal máxima (stephanion – stephanion)
6. FMB	Anchura bifrontal (frontomalar anterior – frontomalar anterior)
7. ZYB	Anchura bicigomática (zygion – zygion)
8. AUB	Anchura biauricular (porion – porion) auricular
9. MAB	Anchura palatina externa (ectomalar – ectomalar)
10. ASB	Anchura biastérica (asterion – asterion)
11. JUB	Anchura bijuglar (Juglar – juglar)
12. ZMB	Anchura bimaxilar (zigomaxilar – zigomaxilar)
13. WMH	Altura de la mejilla (orbital inferior – masetero)
14. NPH	Altura nasión – prosthion
15. BPL	Longitud basión – prosthion
16. BNL	Longitud basión – nasion
17. NLH	Promedio de la altura nasal (nasion – narial).
18. NLB	Anchura de nasal (alar – alar)
19. EKB	Anchura biorbital (ectoconchion – ectoconchion)
20. DKB	Anchura interorbital (dacryon – dacryon)
21. OBH	Altura orbital izquierda (orbital superior – orbital inferior)
22. OBB	Anchura orbital izquierda (ectoconchion – dacryon)
23. FRC	Cuerda nasión – bregma (cuerda frontal)
24. PAC	Cuerda bregma – lambda (cuerda parietal)
25. OCC	Cuerda lambda – opisthion (cuerda occipital)
26. SSS	Línea subtensa zigomaxilar (subspinal – zigomaxilar)
27. NAS	Línea subtensa frontal en nasion (frontomalar anterior – frontomalar anterior)
28. FRS	Línea subtensa nasion – bregma
29. PAS	Línea subtensa bregma – lambda
30. OCS	Línea subtensa lambda – opisthion

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.** Resultados de la prueba de validación de una muestra de cráneos de mestizos mexicanos por medio de la plataforma Ancestrees.

Individuo	Grupo asignado	% clasificación	valor p
1	Sub-Saharan Africa	1.00	0.63
2	Sub-Saharan Africa	1.00	0.69
3	Sub-Saharan Africa	0.55	0.15
4	Northeast Africa	0.63	0.74
5	Sub-Saharan Africa	1.00	0.59
6	Polynesia	0.99	0.71
7	North & South America	0.87	0.35
8	Sub-Saharan Africa	1.00	0.44
9	North & South America	0.98	0.86
10	Northeast Africa	0.98	0.96
11	Northeast Africa	0.98	0.96
12	South Asia	0.73	0.83
13	North & South America	0.61	0.58
14	North & South America	0.95	0.37
15	North & South America	0.93	0.64
16	Sub-Saharan Africa	0.99	0.46
17	Sub-Saharan Africa	1.00	0.69
18	Northeast Africa	1.00	0.91
19	Northern Asia & Arctic	0.94	0.89
20	Sub-Saharan Africa	0.86	0.47
21	East & Southeast Asia	1.00	0.63
22	Australia & Melanesia	0.95	0.54
23	Sub-Saharan Africa	0.93	0.30
24	Sub-Saharan Africa	1.00	0.63
25	North & South America	0.99	0.76
26	North & South America	0.88	0.35
27	Sub-Saharan Africa	1.00	0.78
28	North & South America	0.89	0.35
29	Sub-Saharan Africa	0.74	0.64
30	Europe	0.59	0.34
31	Europe	0.94	0.51
32	East & Southeast Asia	1.00	0.74
33	North & South America	0.65	0.30
34	North & South America	0.75	0.53
35	Sub-Saharan Africa	1.00	0.63
36	Europe	0.76	0.43
37	North & South America	0.59	0.58
38	Sub-Saharan Africa	0.61	0.44
39	North & South America	0.99	0.76

Fuente: Elaboración propia

poblaciones sin relación biológica lógica, lo que es una alteración de los datos y que en el contexto forense resulta desalentador. Es así como para el caso del programa 3D-ID, se observó una pobre clasificación correcta de individuos mexicanos, aunque el sexo es asignado de manera correcta en un alto porcentaje.

### Simulador CranExplr

La plataforma CranExplr<sup>5</sup>, desarrollado por João Coelho, es un simulador experimental que permite la visualización de las tendencias de 29 mediciones clásicas lineales (Howells) en un 12 macropoblaciones o regiones humanas con la finalidad de comprender cómo la morfología influye en la probabilidad de pertenecer a una población específica. Para ello se ha incluido a los 3163 cráneos de la base de datos de Howells empleando algoritmos de *machine learning* básicos y un modelo discriminante flexible, todo ello basado en el programa CRANID. Mediante 28 distancias basadas en Howells se obtiene una gráfica con la probabilidad de pertenencia de esos datos craneométricos a las 12 poblaciones incluidas en la plataforma. Para un individuo no identificado, se pueden ingresar los valores de las distancias obtenidas en el laboratorio, para conocer la mayor probabilidad de pertenencia en función de esa combinatoria de mediciones. Por ejemplo, se presenta un individuo de la base de datos de Howells de Perú (id 1420) masculino se puede ver que el gráfico de barras lo clasifica como en un 0.83% para sudamericano y 0.1% nativo norteamericano (figura 5). La limitante de este simulador experimental es que son necesarias todas las distancias para ya que, aún usando el valor medio, las probabilidades cambian mucho si no se usan la totalidad de las distancias. La plataforma puede ser empleada en la siguiente url: [osteomics.com/cranExplr/](http://osteomics.com/cranExplr/). También, resulta muy útil como recurso educativo en clases sobre cálculo de ancestría biogeográfica.

### 3SKULL

Es un programa que permite la captura de coordenadas de *landmarks* tridimensionales por medio de un brazo digitalizador Microscribe (Ousley, 2010). Se puede, mediante la petición por correo electrónico, bajar el programa (url: [statsmachine.net/software/3SKull/](http://statsmachine.net/software/3SKull/)). La versión

actual es la 1.76 que ha sido depurada por los autores. En este sentido cabe destacar que el uso del brazo Microscribe tiene su propia interfaz, que puede transferir datos a diversas plataformas como bloc de notas o cualquier procesador de textos. La idea de este programa es la compatibilidad con el Fordisc.

### FORDISC 3.1.

Se trata de un programa interactivo para Windows que permite clasificar a los adultos por ancestría y sexo utilizando cualquier combinación de medidas estándar (Jantz y Ousley, 2005). En su última versión, se incluyen más mediciones y más grupos, incluida la Howells. Es posible la importación de datos, controlar de valores atípicos y se incluye una guía ilustrada mejorada para las mediciones. Lamentablemente, su acceso no es libre, el programa tiene un costo de \$395.00 dólares por lo que, para el caso latinoamericano, es complicado de adquirir, además de que va en contra de la generalidad de liberación de datos, repetibilidad y reproducibilidad. La literatura antropológica ha generado un debate sobre la perspectiva de la discriminación que logra en programa con colecciones de ancestría conocida (Kosiba, 2000; Leathers et al., 2002; Ubelaker et al., 2002; Williams et al., 2005; Hubbe et al., 2007; Keita et al., 2007), como ya se ha visto en otros programas, esto es generar un alto grado de malas clasificaciones. Empero, los autores del programa argumentan una mala interpretación de los resultados (ver Freid et al., 2005).

### COMENTARIOS FINALES

El cálculo de ancestría tradicionalmente ha estado ligado a corrientes tipologístas de la antropología física clásica. Empero, en el marco de la antropología biológica, se define que ha sucedido una sustitución del paradigma tipologista, hacia una perspectiva genético poblacional y evolutiva, proceso que, se refiere como uno de los más grandes pasos de esta ciencia en los sistemas de caracterización y clasificación de la variación humana.

El uso clasificadores de identificación (clasificaciones taxonómicas o *folk taxonomy*, ver Berlin, 1973; Miller, 1975; Edgar, 2009) en materia forense ha continuado con una visión clásica y muy arraigada, aunque se reconoce

5 <http://osteomics.com/cranExplr/>

Tabla 3. Resultados de la prueba de validación de una muestra de cráneos de mestizos mexicanos por medio de la plataforma 3D-ID.

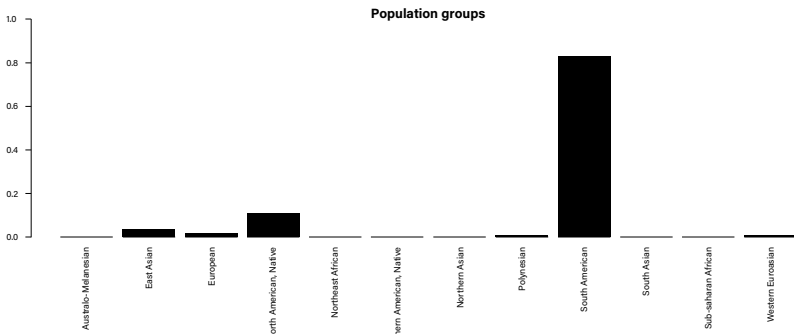
Ind/sexo	Clasificación resultante	D2	Pos-terior	Tipi-cidad	Ind/sexo	Clasificación resultante	D2	Pos-terior	Tipi-cidad	Ind/sexo	Clasificación resultante	D2	Pos-terior	Tipi-cidad
1	South_American - M*	24.35	0.3	0.79	13	Mesoamerican - M	67.35	0.26	0	25	European_Southeastern - M	17.42	0.32	0.96
F	Brazilian - F	2719	0.2	0.65	M	Mesoamerican - M	70.3	0.67	0	M	European_Southeastern - M	1719	0.4	0.97
2	European_Central - M	22.44	0.45	0.82	14	Mesoamerican - M	18.64	0.38	0.94	26	European_Southeastern - M	1779	0.49	0.96
M	European_Central - M	23.35	0.47	0.79	M	Mesoamerican - M	18.93	0.45	0.94	M	European_Southeastern - M	16.97	0.52	0.97
3	Brazilian - M	23.94	0.17	0.76	15	Japanese_Brazilian - M	26.74	0.39	0.7	27	Japanese_Brazilian - F	28.52	0.6	0.66
M	Circumcaribbean - M	25.57	0.18	0.69	M	Japanese_Brazilian - M	27.24	0.52	0.69	F	Japanese_Brazilian - F	30.53	0.93	0.6
4	Brazilian - M*	14.96	0.25	0.99	16	Mesoamerican - F	13.77	0.36	1	28	Brazilian - M	15	0.22	0.99
F	European_Southwestern - F	18.86	0.27	0.94	F	Mesoamerican - F	14.55	0.41	1	M	Mesoamerican - M	15.22	0.3	0.99
5	Mesoamerican - M	17.8	0.5	0.96	17	African_American - F	15.27	0.35	0.99	29	Brazilian - F*	40.29	0.42	0.11
M	Mesoamerican - M	18.54	0.58	0.95	F	African_Brazilian - F	16.14	0.39	0.98	M	Japanese_Brazilian - M	43.29	0.72	0.1
6	Mesoamerican - M	15.07	0.5	0.99	18	Brazilian - F*	34.23	0.3	0.28	30	African_American - M	23.78	0.32	0.76
M	Mesoamerican - M	16.25	0.52	0.98	M	Mesoamerican - M	38.17	0.34	0.16	M	African_American - M	24.5	0.35	0.74
7	Syrian - F*	4119	0.27	0.12	19	Colombian - F	30.36	0.33	0.55	31	Brazilian - F	37.89	0.3	0.16
M	South_American - M	42.45	0.68	0.1	F	Colombian - F	35.91	0.31	0.34	F	Brazilian - F	42.11	0.38	0.1
8	European_Central - M	20.72	0.33	0.88	20	European_Central - M	25.91	0.52	0.65	32	Japanese_Brazilian - M	23.89	0.51	0.82
M	European_Central - M	20.89	0.48	0.88	M	European_Central - M	25.96	0.54	0.66	M	Japanese_Brazilian - M	25.45	0.72	0.77
9	Mesoamerican - M	21.59	0.47	0.86	21	Mesoamerican - M	23.54	0.45	0.78	33	Syrian - M	19.56	0.22	0.94
M	Mesoamerican - M	23.25	0.64	0.8	M	Mesoamerican - M	23.66	0.41	0.79	M	Mesoamerican - M	19.79	0.32	0.92
10	European_Southwestern - F	19.44	0.42	0.92	22	European_Southeastern - F	31.88	0.27	0.36	34	Mesoamerican - M	96.5	0.01	0
F	European_Southwestern - F	20.58	0.82	0.9	F	European_Southeastern - F	35.07	0.28	0.27	M	Mesoamerican - M	101.84	0.13	0
11	Mesoamerican - M*	2119	0.67	0.87	23	European_Southeastern - M	23.93	0.39	0.76	35	Syrian - F	26.91	0.16	0.79
F	Japanese_Brazilian - F	25.83	0.46	0.8	M	European_Southeastern - M	24.92	0.4	0.72	F	European_Southeastern - F	5.08	0.36	0.74
12	South_American - M	18.78	0.13	0.95	24	European_American - F	42.3	0.28	0.07	36	European_Southeastern - M	15.42	0.29	0.98
M	South_American - M	19.09	0.25	0.95	F	European_American - F	42.16	0.26	0.09	M	European_Southeastern - M	15.29	0.33	0.99

Ind/sexo	Clasificación resultante	D2	Pos-terior	Tipi-cidad	Ind/sexo	Clasificación resultante	D2	Pos-terior	Tipi-cidad	Ind/sexo	Clasificación resultante	D2	Pos-terior	Tipi-cidad
37	East_Asian - M	20.68	0.35	0.91	48	African_American - M	34.77	0.5	0.24	59	European_Southeastern - M	17.58	0.28	0.96
M	East_Asian - M	20.25	0.47	0.92	M	African_American - M	35.07	0.66	0.24	M	European_Southeastern - M	18.48	0.61	0.94
38	Mesoamerican - M*	25.99	0.53	0.67	49	European_American - M	31.12	0.36	0.39	60	Mesoamerican - M	24.62	0.62	0.73
F	Mesoamerican - F	30.12	0.35	0.59	M	African_American - M	33.77	0.44	0.29	M	Mesoamerican - M	25.51	0.61	0.7
39	Mesoamerican - M*	20.41	0.23	0.9	50	Mesoamerican - M	25.29	0.66	0.7	61	European_Southwestern - M	12.27	0.34	1
F	Brazilian - F	19.73	0.2	0.93	M	Mesoamerican - M	26.57	0.63	0.65	M	European_Southwestern - M	12.21	0.41	1
40	European_Southeastern - F	24.96	0.27	0.71	51	Mesoamerican - M*	29.13	0.31	0.5	62	South_American - F	23.21	0.23	0.87
F	European_Southeastern - F	24.82	0.37	0.75	F	Mesoamerican - F	31.25	0.39	0.53	F	European_American - F	22.78	0.46	0.83
41	Mesoamerican - M	18.28	0.24	0.95	52	European_Southeastern - M	14.83	0.52	0.99	63	Syrian - F	16.99	0.35	0.99
M	Mesoamerican - M	18.61	0.42	0.95	M	European_Southeastern - M	14.78	0.52	0.99	F	Syrian - F	16.77	0.31	0.99
42	European_Central - F	19.7	0.5	0.91	53	African_Brazilian - F	19.68	0.5	0.93	64	Japanese_Brazilian - F*	25.33	0.21	0.8
F	European_Central - F	19.54	0.66	0.93	F	African_Brazilian - F	18.8	0.63	0.96	M	Mesoamerican - M	26.72	0.57	0.64
43	African_Brazilian - M	18.74	0.27	0.95	54	European_Southeastern - F	25.13	0.36	0.7	65	Japanese_Brazilian - M	10.79	0.22	1
M	African_Brazilian - M	19.93	0.46	0.92	F	European_Southeastern - F	24.11	0.47	0.78	M	Japanese_Brazilian - M	10.83	0.32	1
44	European_American - F*	12.72	0.24	1	55	European_Central - M	15.78	0.33	0.98	66	European_Central - M	16.45	0.27	0.97
M	European_American - M	13.49	0.4	0.99	M	European_Central - M	16.27	0.38	0.98	M	European_Central - M	17.46	0.34	0.96
45	Mesoamerican - M	26.5	0.59	0.64	56	Mesoamerican - M	21.85	0.36	0.85	67	Mesoamerican - M	15.82	0.6	0.98
M	Mesoamerican - M	27.67	0.67	0.59	M	Mesoamerican - M	23.12	0.45	0.81	M	Mesoamerican - M	16.18	0.8	0.98
46	Mesoamerican - M	26.32	0.53	0.65	57	European_Southeastern - M	21.81	0.3	0.85	68	Japanese_Brazilian - M	33.97	0.34	0.36
M	Mesoamerican - M	25.58	0.7	0.7	M	European_Southeastern - M	22.86	0.33	0.81	M	Japanese_Brazilian - M	33.91	0.33	0.38
47	Brazilian - M	18.98	0.31	0.93	58	European_Southeastern - M	918	0.3	1					
M	Brazilian - M	18.86	0.41	0.94	M	European_Southeastern - M	9.49	0.34	1					

Se muestra el individuo y su sexo, la clasificación resultante, la distancia de mahalanobis (d2), la clasificación posterior y la tipicidad del mismo. Las celdas en ita representan las clasificaciones correctas en sexo y ancestría (t=Zt), las celdas en amarillo indican los individuos que presentaron problemas de clasificación asociado al sexo. Con \* se marcan las clasificaciones incorrectas para el caso del sexo.

Fuente: Elaboración propia





**Figura 5.** Interse gráfica del simulador CranExplr

Resultado la mayor probabilidad de pertenencia de un individuo al azar de la base de datos de Howells. Este programa es un simulador experimental que permite la visualización de las tendencias de 29 mediciones clásicas lineales (Howells) en un 12 macropoblaciones.

*Fuente: Elaboración propia*

como utilitaria o funcional, se enfatiza que dichos conceptos presentan nula traducción bioantropológica.

En la actualidad, en el contexto de la aplicación de protocolos de identificación humana, el uso de modelos de biodistancias es una potencial para la identificación positiva o acercamiento a la identificación de una persona en calidad de no identificado, permitiendo una tasa de selección de individuos de un universo muestral mucho más grande.

La morfometría geométrica, en combinación con la estadística multivariada, representan una forma de mejora en el análisis de la forma de un fenotipo complejo como el cráneo. La perspectiva teórica de la genética cuantitativa determina la elección de datos referencia, puntos para el fenotipado y modelos dimensionales a elegir. Lo que deberá traducirse en mejoras al proceso de dictamen en materia de estimación de la ancestría. Aquí se ha clarificado que el cráneo debe ser estudiado desde un modelo hiperdimensional multivariado (Slice, 2005), lo que implica el uso de morfometría geométrica, morfoespacios de forma y análisis estadísticos multivariados complementarios. Así, las recientes generaciones se forman ya en esta nueva visión de la caracterización de la formas biológicas, construyendo así la escuela estándar de la antropología forense y biológica (ver Zelditch et al., 2004).

También, el capítulo ha intentado protocolizar la aplicación del programa de investigación y praxis de la ancestría biogeográfica en una secuencia de seis pasos, ello permitirá el desarrollo de las mismas y su contraste con la comunidad forense y bioantropológica. Es necesario entonces, pensar en la evaluación de las plataformas que se han publicado, la representatividad de las bases de datos disponibles, los sistemas de evaluación del error de medición intra e inter observadores, la baja aplicación de la morfometría geométrica 2D y 3D en el contexto de la antropología forense mexicana, la mejora de la aplicación de estos parámetros y su traducción en identificaciones positivas.

Es importante también reflexionar que lo planteado aquí buscó revisar, aunque someramente, las plataformas informáticas disponibles para el cálculo de la ancestría. Y también, validar sus resultados y visibilizar su posible aplicación en la praxis antropológica forense. De manera general, los programas disponibles para el análisis de la ancestría no presentan buenos resultados cuando se pretende usar en el contexto de la variación craneofacial mexicana. Por el contrario, parece que la estimación ancestral genera una alta frecuencia de malas asignaciones de individuos con ancestría biogeográfica conocida a una macropoblación. Ello evidencia un problema severo, esto es, la baja especificidad de las muestras, concretamente la sub-representatividad de la población mexicana en la com-

posición de las muestras de referencia. Administrativamente, de este fenómeno es que surgieron taxonomías populares (folk taxonomy) como los términos “latino” o “hispano”; que son el reflejo de la falta de capacidad científica-técnica de los sistemas de clasificación de la ancestría actuales para determinar la pertenencia a un grupo poblacional de una persona no identificada. Además, de la ya citada baja representatividad en bases de datos de la población mexicana, mucho menos si se piensa en las poblaciones centroamericanas.

En este contexto, cabe la reflexión sobre la importancia de la generación de colecciones osteológicas. El resguardo de personas fallecidas no identificadas o identificadas no reclamadas por instituciones académicas, siempre será una mejor opción que los osarios en los panteones o las fosas comunes tradicionales (que a la luz de la Ley de Desapariciones Forzadas deberían no existir más), que conllevan la descontextualización de los restos y la posterior necesidad de un costo mayor por la reasociación de cuerpos y/o osamentas, no solo en praxis, sino en presupuesto para realizar, por ejemplo, pruebas genéticas para re asociación.

Como algunas opciones para la obtención de datos para el cálculo de la ancestría están: 1) los contextos cementeriales, donde puede trabajarse con las personas no reclamadas y obtener datos craneométricos; también, 2) el acceso a bases de datos imagenológicas hospitalarias son de suma importancia, el aporte que departamentos de imagen médica resultará prioritario para la adquisición de muestras pasivas de personas de alguna región particular. Por ejemplo, la to-

mografía de cabeza es una práctica común y su uso para fines forenses es fundamental. Radiografías, resonancias magnéticas y angiografías también son opciones para la obtención de datos craneométricos. Luego entonces, el rubro más importante en la construcción de parámetros craneofaciales poblacionales de México son la producción de datos referencia, vía alguna de las opciones aquí señaladas.

Finalmente, el cálculo de la ancestría biogeográfica ha sido un elemento menospreciado en la praxis forense, empero es de suma importancia poder generar métodos y a su vez, plataformas informáticas que permitan, de una manera amigable, el cálculo de la asignación más probable de individuos en situación de no identificación. Por ejemplo, en el proceso de diáspora que vive Centroamérica y México respecto de la migración, el tema del cálculo de la ancestría resulta fundamental, tanto en territorio mexicano como de EUA.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE216318, y parcialmente beneficiado por el proyecto PAPIIT-DGAPA IA401818 “Proyecto NN: Colección Osteológica Nacional” y del Proyecto Conacyt de desarrollo científico para atender problemas nacionales PN-2016-2518 con el título “Proyecto NN: Protocolos de Identificación Humana, Colección Osteológica Nacional y Base de Datos de Personas No Identificadas y/o Desaparecidas”.

## REFERENCIAS CITADAS

- Adams BJ. 2007. Forensic anthropology. (Kobilinsky L, editor). New York: Chelsea House.
- Bamshad M, Wooding S, Salisbury BA, Stephens JC. 2004. Deconstructing the relationship between genetics and race. *Nat Rev Genet* 5:598–609.
- Bamshad MJ, Wooding S, Watkins WS, Ostler CT, Batzer MA, Jorde LB. 2003. Human population genetic structure and inference of group embership. *Am J Hum Genet* 71:578–589.
- Berlin B. 1973. Folk Systematics in Relation to Biological Classification and Nomenclature. *Annu Rev Ecol Syst* 4:259–271.
- Cardini A. 2016. Lost in the Other Half: Improving Accuracy in Geometric Morphometric Analyses of One Side of Bilaterally Symmetric Structures. *Syst Biol* 65:1096–1106.
- Cardini A. 2017. Left, right or both? Estimating and improving accuracy of one-side-only geometric morphometric analyses of cranial variation. *J Zool Syst Evol Res* 55:1–10.

- Cardini A, Seetah K, Barker G. 2015. How many specimens do I need? Sampling error in geometric morphometrics: testing the sensitivity of means and variances in simple randomized selection experiments. *Zoomorphology* 134:149–163.
- Chi-Keb JR, Albertos-González VM, Ortega-Muñoz A, Tiesler VG. 2013. A new reference collection of documented human skeletons from Mérida, Yucatan, Mexico. *HOMO- J Comp Hum Biol* 64:366–376.
- Christensen AM, Passalacqua N V, Bartelink EJ. 2012. *Forensic Anthropology: Current Methods and Practice*. San Diego: Academic Press.
- Claes P, Walters M, Shriver MD, Puts D, Gibson G, Clement J, Baynam G, Verbeke G, Vandermeulen D, Suetens P. 2012. Sexual dimorphism in multiple aspects of 3D facial symmetry and asymmetry defined by spatially dense geometric morphometrics. *J Anat* 221:97–114.
- Dudzik B, Kolarowicz A. 2016. Craniometric data analysis and estimation of biodistance. In: Pilloud M, Hefner J, editors. *Biological distance analysis: Forensic and bioarchaeological perspectives*. London: Academic Press. p 35–60.
- Edgar HJH. 2009. Biohistorical approaches to “race” in the United States: Biological distances among African Americans, European Americans, and their ancestors. *Am J Phys Anthropol* 139:58–67.
- Edwards AWF. 2003. Human genetic diversity: Lewontin’s fallacy. *BioEssays* 25:798–801.
- Enlow DH, Hans MG. 1996. *Essentials of facial growth*. Philadelphia: Saunders.
- Felsenstein J. 1975. A Pain in the Torus: Some Difficulties with Models of Isolation by Distance. *Am Nat* 109:359–368.
- Freid D, Spradley M, Jantz R, Ousley D. 2005. The truth is out there: how NOT to use Fordisc. *Am J Phys Anthropol* 117:103.
- Gonzalez-Jose R. 2006. Aproximación a la historia y la estructura de las poblaciones a partir de la variabilidad en la morfología del cráneo. En: González-José A, editor. *Historia biológica del hombre en América*. Pachuca Hidalgo: Área Académica de Historia y Antropología, UAEH. p 199.
- Harcourt-Smith WEH, Tallman M, Frost SR, Wiley DF, Rohlf FJ, Delson E, Sargis EJ and DM, West CP. 2008. Analysis of Selected Hominoid Joint Surfaces Using Laser Scanning and Geometric Morphometrics: A Preliminary Report. En: Sargis E y Dagosto M, editores. *Mammalian Evolutionary Morphology: A Tribute to Frederick S. Szalay*. Springer Science + Business Media B.V. p 373–383.
- Hefner JT, Pilloud M, Buikstra JE, Vogelsberg C. 2016. A Brief History of Biological Distance. In: Pilloud MA, Hefner JT, editors. *Biological distance analysis: Forensic and bioarchaeological perspectives*. London: Academic Press. p 3–22.
- Hora M, Sládek V. 2018. Population specificity of sex estimation from vertebrae. *Forensic Sci Int* 291:279.e1-279.e12.
- Hubbe M, Neves WA, L’Engle Williams F, Armelagos GJ. 2007. On the Misclassification of Human Crania. *Curr Anthropol* 48:285–288.
- Jantz R, Ousley S. 2005. Fordisc.
- Jantz RL. 2001. Variation among early North American crania. *Am J Phys Anthropol* 114:146–155.
- Jantz RL, Meadows Jantz L. 2000. Secular change in craniofacial morphology. *Am J Hum Biol* 12:327–338.
- Keita SOY, L’Engle Williams F, Belcher RL, Armelagos GJ. 2007. On Meroitic Nubian Crania, Fordisc 2.0, and Human Biological History. *Curr Anthropol* 48:425–427.
- Kent JT, Mardia K V. 1997. Consistency of Procrustes Estimators. *J R Stat Soc Ser B (Statistical Methodol)* 59:281–290.
- Kimmerle E, Jantz R. 2005. Secular trends in craniofacial asymmetry studied by geometric morphometry and generalized Procrustes methods. In: Slice DE, editor. *Modern Morphometrics in Physical Anthropology*. New York: Kluwer Academic/Plenum. p 247–263.
- Van Der Klaauw C. 1945. Cerebral skull and facial skull. A contribution to the knowledge of skull-structure. *Arch Neerlandaises Zool* 7:16–37.

- Kosiba S. 2000. Assessing the efficacy and pragmatism of 'race' designation in human skeletal identification: a test of Fordisc 2.0 program. In: Sixty-ninth annual meeting of the American Association of Physical Anthropologists. San Antonio, Tx: American Journal of Physical Anthropology. p 200.
- Langley N, Jantz L, Ousley SD, Jantz R, Milner GR. 2016. Data collection procedures for forensic skeletal material 2.0. Knoxville (TE).
- Leathers A, Edwards J, Armelagos G. 2002. Assessment of classification of crania using Fordisc 2.0: Nubian X-Group Test. In: Seventy-First Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropologists. Buffalo, New York: AJPA. p 199–200.
- Lestrel P. 2000. Morphometrics For The Life Sciences. World Scientific Pub Co Inc.
- Lewontin R. 1972. The apportionment of human diversity. *Evol Biol* 6:391–98.
- Liebenberg L, L'Abbé EN, Stull KE. 2015. Population differences in the postcrania of modern South Africans and the implications for ancestry estimation. *Forensic Sci Int* 257:522–529.
- Martínez-Abadías N. 2005. Evolutionary patterns of the human skull . A quantitative genetic analysis of craniofacial phenotypic variation. Director.
- Martínez-abadías N, Esparza M, Sjøvold T, González-josé R, Santos M, Hernández M. 2009. Heritability of human cranial dimensions : comparing the evolvability of different cranial regions. *J Anat* 214:19–35.
- Martínez-Abadías N, González-José R, González-Martín A, Van der Molen S, Talavera A, Hernández P, Hernández M. 2006. Phenotypic evolution of human craniofacial morphology after admixture: a geometric morphometrics approach. *Am J Phys Anthropol* 129:387–98.
- Mielke J, Konigsberg L, Relethford J. 2011. Human Biological Variation. New York, NY: Oxford U versity Press.
- Miller J. 1975. Addendum: General Principles of Classification and Nomenclature in Folk Biology. *Am Anthropol* 77:887–887.
- Navega D, Coelho C, Vicente R, Ferreira MT, Wasterlain S, Cunha E. 2015. AncestryTrees: ancestry estimation with randomized decision trees. *Int J Legal Med* 129:1145–1153.
- Noback ML, Harvati K, Spoor F. 2011. Climate-related variation of the human nasal cavity. *Am J Phys Anthropol* 145:599–614.
- Oikonomopoulou E-K, Valakos E, Nikita E. 2017. Population-specificity of sexual dimorphism in cranial and pelvic traits: evaluation of existing and proposal of new functions for sex assessment in a Greek assemblage. *Int J Legal Med* 131:1731–1738.
- Olson EC, Miller RL. 1958. Morphological integration. Chicago: University of Chicago Press.
- Ousley S. 2010. ThreeSkull.
- Paschetta C. 2010. The influence of masticatory loading on craniofacial morphology: A test case across technological transitions in the Ohio valley. *Am J Phys Anthr* 141:297–314.
- Paschetta C, González-José R. 2012. Canalización e integración morfológica en poblaciones humanas modernas de diferentes contextos culturales y orígenes geográficos. *Rev Argentina Antropol Biológica* 14:101–112.
- Pilloud M, Hefner JT. 2016. Biological Distance Analysis. London: Academic Press.
- Pucciarelli H. 2008. Evolución y diversificación biológica humana desde la perspectiva craneofuncional. Mexico. DF: IIA-UNAM, ENAH.
- Quinto-Sánchez M, Adhikari K, Acuña-Alonzo V, Cintas C, Silva de Cerqueira CC, Ramallo V, Castillo L, Ferrera A, Jaramillo C, Arias W, Fuentes M, Everardo P, de Avila F, Gomez-Valdés J, Hunemeier T, Gibbon S, Gallo C, Poletti G, Rosique J, Bortolini MC, Canizales-Quintero S, Rothhammer F, Bedoya G, Ruiz-Linares A, Gonzalez-José R. 2015. Facial asymmetry and genetic ancestry in Latin American admixed populations. *Am J Phys Anthropol* 157:58–70.
- Quinto-Sánchez M, Muñoz-Muñoz F, Gomez-Valdes J, Cintas C, Navarro P, Cerqueira CCS de, Paschetta C, de Azevedo S, Ramallo V, Acuña-Alonzo V, Adhikari K, Fuentes-Guajardo M, Hunemeier T, Everardo P, de Avila

- F, Jaramillo C, Arias W, Gallo C, Poletti G, Bedoya G, Bortolini MC, Canzales-Quinteros S, Rothhammer F, Rosique J, Ruiz-Linares A, Gonzalez-Jose R. 2018. Developmental pathways inferred from modularity, morphological integration and fluctuating asymmetry patterns in the human face. *Sci Rep* 8:963.
- Relethford J. 2004. Global Patterns of Isolation by Distance Based on Genetic and Morphological Data. *Hum Biol* 76:499–513.
- Relethford J. 2016. Biological distances and populations genetics in bioarchaeology. In: Pilloud M, editor. *Biological distance analysis: Forensic and bioarchaeological perspectives*. London: Academic Press. p 23–33.
- Relethford JH. Population-specific deviations of global human craniometric variation from a neutral model. *Am J Phys Anthr* 142:105–111.
- Relethford JH. 2009. Race and global patterns of phenotypic variation. *Am J Phys Anthr* 139:16–22.
- Richtsmeier JT, Deleon VB, Lele S. 2002. The promise of geometric morphometrics. *Yearb Phys Anthr* 45:63–91.
- Rosas A, Bastir M. 2002. Thin plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *Am J Phys Anthropol* 117:236–45.
- Ross AH, Slice DE, Ubelaker DH, Falsetti AB. 2004. Population affinities of 19th century Cuban Crania: Implications for identification criteria in south Florida Cuban Americans. *J Forensic Sci* 49:11–16.
- Ruiz-Linares A, Adhikari, Kaustubh Acuña-Alonzo V, Quinto-Sánchez, Mirsha Jaramillo C, Arias W, Fuentes M, Pizarro M, Everardo P, de Avila F, Gómez-Valdés J, León-Mimila P, Hunemeier T, Ramallo V, Silva de Cerqueira CC, Burley M-W, Konka E, Zagonel de Oliveira M, Veronez MR, Rubio-Codina M, Attanasio O, Gibbon S, Gallo C, Poletti G, Rosique J, Schuler-Faccini L, Salzano FM, Bortolini M-C, Canzales-Quinteros S, Rothhammer F, Bedoya G, Balding D, Gonzalez-José R. 2014. Admixture in Latin America: geographic structure, phenotypic diversity and self-perception of ancestry based on 7,342 individuals. *PLoS Genet* 10:e1004572.
- Slice D, Ross A. 2009. 3D-ID: geometric morphometric classification of crania for forensic scientists.
- Slice DE. 2005. *Modern morphometrics in physical anthropology*. (Slice DE, editor.). Springer.
- Spradley M, Weisense KE. 2013. Why Do Forensic Anthropologists Estimate Ancestry, and Why Is It So Controversial? In: Tersigni-Tarrant MA, Shirley NR, editors. *Forensic Anthropology: An Introduction*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group. p 477.
- Spradley MK. 2014. Metric Ancestry Estimation from the Postcranial Skeleton. In: *Biological Affinity in Forensic Identification of Human Skeletal Remains*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group. p 83–94.
- Spradley MK, Jantz RL. 2016. Ancestry Estimation in Forensic Anthropology: Geometric Morphometric versus Standard and Nonstandard Interlandmark Distances. *J Forensic Sci* 61:892–897.
- Ubelaker D, Ross A, Graver S. 2002. Application of forensic discriminant functions to a Spanish cranial sample. *For Sci Comm* 4:1–5.
- Ubelaker DH, DeGaglia CM. 2017. Population variation in skeletal sexual dimorphism. *Forensic Sci Int* 278:407. e1-407.e7.
- Urbanova P, Ross A. 2016. Advanced methods in 3D craneofacial morphological analysis. In: Pilloud M, Hefner J, editors. *Biological distance analysis: Forensic and bioarchaeological perspectives*. London, UK: Academic Press. p 61–90.
- Watanabe A. 2018. How many landmarks are enough to characterize shape and size variation? *PLoS One* 13:e0198341.
- Wellens HLL, Kuijpers-Jagtman AM, Halazonetis DJ. 2013. Geometric morphometric analysis of craniofacial variation, ontogeny and modularity in a cross-sectional sample of modern humans. *J Anat* 222:397–409.
- Williams FL, Belcher RL, Armelagos GJ. 2005. Forensic Misclassification of Ancient Nubian Crania: Implications for Assumptions about Human Variation. *Curr Anthropol* 46:340–346.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. 2004. *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. San Diego: Elsevier Academic Press.

# Consideraciones para la Estimación de Estatura en Antropología Forense

**Antinea Menéndez Garmendia<sup>1</sup>**

**Gabriela Sánchez-Mejorada<sup>3</sup>**

**Jorge A. Gómez-Valdés<sup>2</sup>**

**Palabras clave:** antropología forense, estimación de estatura, osteología forense, ecuaciones de regresión.

## RESUMEN

La estatura es un rasgo multidimensional ya que depende de la interacción de factores biológicos y ambientales. Al ser producto de la historia de vida de un individuo, es vista como una característica que refleja parte de su identidad. Por lo tanto, en antropología forense la estatura es uno de los cuatro elementos básicos para la creación del perfil biológico (sexo, edad, ancestría), a partir de restos óseos, para identificación humana.

En consecuencia, en este capítulo se muestran los dos métodos principales para la estimación de estatura, un panorama general de los antecedentes alrededor del mundo y específicamente en México; así como consideraciones y recomendaciones en cuanto al uso de los métodos existentes.

---

1 Laboratorio de Antropología Física, Departamento de Anatomía, Facultad de Medicina, UNAM.

2 Laboratorio de Osteología del Posgrado en Antropología Física, ENAH, INAH.

3 Laboratorio de Antropología Física, Departamento de Anatomía, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

## ABSTRACT

Stature is a multidimensional feature since it depends on biological and environmental factors and the interaction among them. As a product of an individual's life history is seen as a characteristic that reflects the identity. Therefore, in forensic anthropology, height is one of the four basic elements for the biological profile (sex, age, ancestry) from skeletal remains for human identification.

Accordingly, the two main methods for stature estimation are shown in this chapter, a general background around the world and specifically in Mexico; as well as considerations and recommendations for their using.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento humano es un proceso fisiológico dinámico que conlleva una interacción compleja entre la genética y el ambiente. Este, es regulado por los genes, las hormonas, la nutrición y diversos factores ambientales (Zakrzewski 2003; Meazza et al., 2017). Al ser medido a través de breves intervalos de tiempo, y de manera constante, refleja el estado psicosocial, económico, nutricional, cultural, ambiental y de homeostasis orgánica en el que se desarrolla un individuo (Calzada, 2007).

Consecuentemente, el crecimiento es un aumento cuantitativo en tamaño (*size*) o masa; el cual, puede ser medido a partir de la estatura y el peso (Bogin, 1999). El peso y la longitud o estatura aportan la información básica utilizada para evaluar el crecimiento y el estado nutricional; así como para la construcción de índices que proveen una representación aproximada de la composición corporal (Cameron, 2012).

De esta forma, la estatura es una característica de gran importancia biológica, ya que da cuenta de información acerca de las tasas de crecimiento, trayectorias de historia de vida y el estado nutricional, dimorfismo sexual y una tendencia general del tamaño corporal, tanto a nivel individual como poblacional (Béguelin, 2009; Stulp y Barret, 2016). Aunado a lo anterior, la estatura tiene importancia social ya que es una característica individualizante, que es utilizada con fines de identificación, tanto en sujetos vivos como fallecidos.

Es así como la estatura, específicamente en el campo de la antropología forense, se vuelve una pieza fundamental para la creación del perfil biológico, con fines de identificación humana. Estimar la estatura en vida a partir del esqueleto es posible debido a la relación que existe entre las dimensiones de los elementos del esqueleto y la estatura (talla) de un individuo (Christensen et al., 2014). Entendida como la altura comprendi-

da entre el vértex (punto más elevado de la cabeza) al suelo, orientando la cabeza en el plano horizontal de Frankfurt (Rodríguez, 2004).

Cuando se reconstruye la estatura o talla de un sujeto a partir de sus huesos áridos, se debe tomar en cuenta que la información obtenida es una aproximación del valor de la estatura antropométrica de un individuo. Por lo cual, esta variable puede ser considerada como un estimador por intervalo, ya que no se le puede dar un valor único y exacto (Menéndez, 2014; Guerrero Rodríguez y Villalobos Fuentes, 2016).

De manera general, la estatura es utilizada en el campo de la antropología forense para construir el perfil biológico de sujetos desconocidos y de esta manera proveer de datos de comparación que permitan aproximarnos a la identidad de un sujeto. Así como también, reducir las posibilidades de emparejamiento (*match*), en el caso del cotejo de personas conocidas (Menéndez, 2014).

Para poder reconstruir la estatura como parte del perfil biológico para identificación humana, es necesario tener en cuenta el factor de la especificidad poblacional. Debido a que existen elementos, como el cambio secular y los agentes ambientales, que afectan de manera desigual la estatura adulta de las poblaciones (Menéndez et al., 2018).

A partir de lo anterior, se pretende dar al lector un panorama general de cómo ha sido el desarrollo en la estimación de la estatura tanto a nivel global como local y los parámetros (herramientas) para poder realizar esta tarea de una manera crítica y acertada.

## MÉTODOS PARA ESTIMAR LA ESTATURA EN ANTROPOLOGÍA FORENSE

En el ámbito antropológico forense existen dos métodos principales para estimar la estatura a partir de restos óseos humanos: el método anatómico y el matemático (métodos de regresión lineal). La utilización de cualquiera de ellos dependerá en gran medida de los elementos óseos que se tengan presentes a la hora del análisis, las condiciones de estos (Christensen et al., 2014), y muchas veces, del tiempo del que se disponga para la creación del perfil biológico.

A continuación, se describen cada uno de ellos, sus implicaciones y su utilización.

### Método anatómico

A manera de resumen, el método anatómico o de Fully (1956) tiene que ver con la medición de todos los elementos óseos que contribuyen con la estatura (cráneo, vértebras, sacro, fémur, tibia, astrágalo y calcáneo), la sumatoria de dichas medidas, y la utilización de factores de corrección, ya sea para el tejido blando, originales de Fully (1956); o las fórmulas propuestas por Raxter et al. (2006).

El trabajo titulado *Methods of estimating the height from parts of the skeleton* del médico Thomas Dwight (1984) fue la primera propuesta de un método para la estimación de la estatura, en el que se involucraba la mayoría del esqueleto (cráneo, vértebras y miembro inferior). Para llevarlo a cabo, se medía sobre una mesa, con el correspondiente aumento de una constante de 32mm que compensaba la ausencia de tejido blando, así como el uso de arcilla para articularlo (Mendonça, 1998; Moore y Ross, 2013). No obstante, no resultó ser exitoso, ya que presentó complicaciones en cuanto a la posición del esqueleto y de la curvatura de la columna (Krenzer, 2006).

Años más tarde, el médico Georges Fully (1956) desarrolló el método anatómico después de la Segunda Guerra Mundial en 1955; año en el que fue convocado por el *Ministère des Anciens Combattants et Victimes de la Guerre* para identificar a sujetos de origen francés, asesinados en un campo de concentración en Austria, llamado Mauthausen (Raxter et al., 2006). Dichos individuos fueron inhumados con una placa de identificación; con este procedimiento lograron

identificarlos, al ser cotejadas con los registros existentes y la confirmación de las familias (Raxter et al., 2006). Fue a partir de dichos registros de la estatura de 102 individuos masculinos franceses y de otras nacionalidades de Europa que Fully (1956) elaboró el método anatómico.

Posteriormente Fully y Pineau (1960) aumentaron la muestra de esqueletos de 102 a 164 sujetos, para desarrollar varias ecuaciones. La primera corresponde a una fórmula general que involucra todos los elementos del esqueleto y considera los errores. Presentan cinco para los casos en los que no se cuenta con determinadas vértebras, para poder calcular la altura de la columna vertebral. Y dos para estimar la estatura cuando solamente se presentan fémur o tibia y las cinco vértebras lumbares.

Más tarde, Raxter et al. (2006) probaron la precisión y aplicabilidad del método de Fully (1956) encontrando una gran correlación entre la estatura calculada con el método anatómico y la estatura en vida (*living stature*); no obstante, observaron un sesgo sistemático con una subestimación de 2.4cm en promedio. Lo cual podría deberse al efecto de las medidas o al factor de corrección del tejido blando. Por esta razón, aclararon cuestiones referentes a las medidas (ya que consideran que Fully [1956] no fue del todo claro) y crearon nuevas fórmulas de regresión, de corrección del tejido blando, con y sin el factor de la edad.

Por último, Auerbach (2011) desarrolló ecuaciones para los casos en los que no se cuenta con algunos elementos óseos necesarios para la estimación de la estatura por medio del método anatómico. En su propuesta presenta fórmulas que estiman la medida de algunas vértebras por separado, o regiones vertebrales específicas (tabla 1); y para estimar la altura talocalcánea, a partir de las longitudes máximas del fémur y la tibia. Las ecuaciones para estimar la altura talocalcánea involucran la longitud máxima de fémur (XFL) y tibia (XTL): Masculino =  $0.100XFLM - 0.018XTLM + 28.775$  y Femenino =  $0.074XFLM + 0.004XTLM + 27.745$

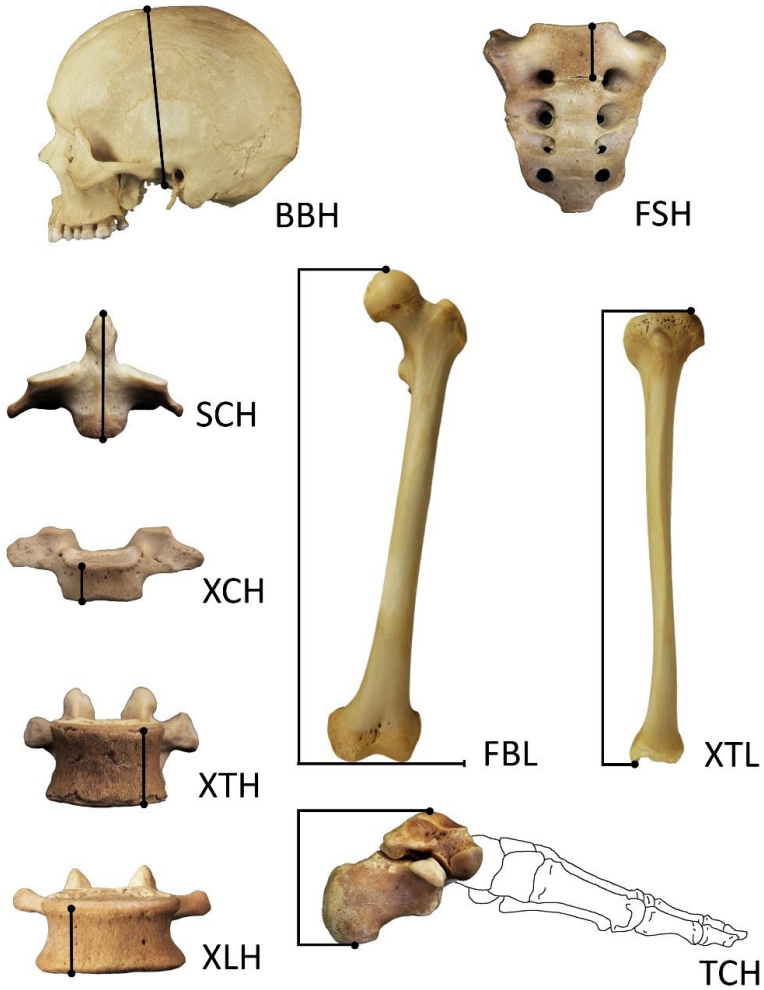
Ahora bien, ¿cómo se aplica el método anatómico?

Como primer paso, se debe realizar la medición de los siguientes elementos óseos del esqueleto (figura 1):

- Cráneo (altura basion-bregma) (BBH)
- Vértebras (altura máxima) (SCH, XCH, XTH, XLH)



- Sacro (altura máxima de primera vértebra) (FSH)
- Fémur (longitud fisiológica o bicondilar) (FBL)
- Tibia (longitud máxima sin espina) (XTL)
- Astrágalo y calcáneo (altura máxima de ambos articulados) (TCH)



**Figura 1.** Medidas de los elementos óseos para método

Altura craneal (BBH), Altura del axis (SCH), Altura del cuerpo de la 3ª a la 7ª vértebra cervical (XCH), Altura de vértebra torácica (XTH), Altura de vértebra lumbar (XLH), Altura de primera vértebra sacra (FSH), Longitud fisiológica o bicondilar del fémur (FBL), Longitud de la tibia (XTL), Altura astrágalo-calcáneo (TCH).

Fuente: Fully, 1956; Raxter, et al., (2006).

Posteriormente, si se quisiera utilizar la propuesta original de Fully (1956) es necesario realizar la sumatoria de las medidas; y con el fin de obtener la talla real, aumentar el factor de corrección proporcional de: 10cm cuando la estatura esquelética es igual o menor a 153.5cm; 10.5cm cuando está entre 153.6 y 165.4cm; y 11.5cm si la estatura es igual o mayor a 165.5cm (Fully y Pineau, 1960).

O si se emplea la propuesta de Raxter et al. (2006) se efectúa de la misma forma la sumatoria de las medidas de los elementos óseos, y a continuación se aplican las siguientes fórmulas:

*Cuando se conoce la edad*

$$\text{Estatura en vida (living stature)} = 1.009 (\text{altura esquelética}) - 0.0426 (\text{edad}) + 12.1$$

*Cuando no se conoce la edad*

$$\text{Estatura en vida (living stature)} = 0.966 (\text{altura esquelética}) + 11.7$$

**Tabla 1.** Ecuaciones para estimar medidas vertebrales de Auerbach (2011)

Vértebra o sección vertebral estimada	Estimador	Ecuación (mm)
<b>Masculino</b>		
C2	C3, C7	$0.592(C3) + 0.625(C7) + 20.588$
C3	C2, C4, C5	$0.064(C2) + 0.545(C4) + 0.274(C5) + 0.308$
C6	C5, C7	$0.454(C5) + 0.477(C7) + 0.235$
T2	T1, T3, T6	$0.425(T1) + 0.448(T3) + 0.098(T6) + 1.092$
T11	T9, T10, T12	$0.234(T9) + 0.346(T10) + 0.325(T12) + 2.078$
L1	T12, L2, L3	$0.342(T12) + 0.399(L2) + 0.192(L3) + 1.789$
L5	L3, L4	$0.372(L3) + 0.532(L4) + 3.322$
<b>Femenino</b>		
C2	C3, C7	$0.589(C3) + 0.525(C7) + 20.170$
C3	C2, C4, C5	$0.066(C2) + 0.612(C4) + 0.228(C5) - 0.119$
C6	C5, C7	$0.402(C5) + 0.474(C7) + 0.871$
T2	T1, T3, T6	$0.419(T1) + 0.364(T3) + 0.188(T6) + 0.807$
T11	T9, T10, T12	$0.072(T9) + 0.398(T10) + 0.395(T12) + 2.437$
L1	T12, L2, L3	$0.488(T12) + 0.320(L2) + 0.124(L3) + 1.990$
L5	L3, L4	$0.184(L3) + 0.788(L4) + 1.168$
<b>Sexo combinado</b>		
Cervical	Sección torácica y lumbar	$0.295(\text{Torácicas}) + 0.179(\text{Lumbares}) + 5.481$
Columna vertebral	Sección torácica y lumbar	$1.279(\text{Torácicas}) + 1.072(\text{Lumbares}) + 22.024$
Cervical y torácica	Sección lumbar	$1.639(\text{Lumbares}) + 114.481$
Columna vertebral	Sección lumbar	$2.639(\text{Lumbares}) + 114.480$

Fuente: Elaboración propia

### Consideraciones

Es aceptado por varios autores que el método anatómico es más exacto que el matemático (por métodos de regresión) (Raxter et al., 2006, Auerbach, 2011, Christensen et al., 2014); ya que como menciona Ousley (2012), si lo que queremos es máxima precisión en la estimación de la estatura, el mejor estimador será el método anatómico o método de Fully.

Otras de las cualidades importantes que posee este método, es que no depende del sexo ni la ancestría de los individuos, debido a que las diferencias en las proporciones corporales se encuentran incorporadas de manera inherente dentro del método, al ser medido básicamente el esqueleto completo (Raxter et al., 2006; Christensen et al., 2014).

Es importante mencionar, que se debe utilizar la propuesta de Raxter et al. (2006) ya que es la más actualizada. Por otro lado, estos autores recomiendan que se utilice la fórmula que incluye el ajuste de la edad para evitar sub o sobrestimaciones.

El método de Fully (1956) y sus clarificaciones, han sido ampliamente utilizados por la comunidad antropofísica en general, debido a que se considera como el que presenta más precisión y exactitud en las estimaciones. De esta manera, no sólo es empleado para estimar la estatura de un esqueleto, sino que también puede servir para la creación de fórmulas de regresión para poblaciones específicas sin contar con la estatura en vida (Raxter et al., 2006).

*Definiciones para el método anatómico (figura 1)*

- Altura craneal (BBH): longitud máxima entre bregma (en la unión de las suturas coronal y sagital) y basion (en el margen anterior del foramen magno, entre los cóndilos occipitales). Esta medida puede tomarse con el compás lateral o posterior con relación al cráneo (compás de ramas) (Raxter et al., 2006). Acotación: coloque el cráneo en su occipucio con el lado derecho frente al observador. Ponga la punta de uno de los brazos del compás en basion y manténgalo con los dedos. Después coloque la punta del otro brazo del compás en bregma (Langley et al., 2016).
- Altura del axis (SCH): del punto más superior del proceso odontoides (denis) al punto más inferior del margen antero-inferior del cuerpo vertebral (compás de corredera) (Raxter et al., 2006).
- Altura del cuerpo de la 3ª a la 7ª vértebra cervical (XCH): altura máxima del cuerpo vertebral, medido en su tercio anterior, medial a los bordes de la curvatura superior del cuerpo (compás de corredera) (Raxter et al., 2006).
- Altura de vértebra torácica (XTH): altura máxima del cuerpo vertebral, anterior a las carillas articulares de las costillas y a los pedículos (compás de corredera) (Raxter et al., 2006).
- Altura de vértebra lumbar (XLH): altura máxima del cuerpo vertebral, anterior a los pedículos, sin incluir algún bulto del cuerpo (*centrum*) debido a los pedículos (compás de corredera) (Raxter et al., 2006).
- Altura de primera vértebra sacra (FSH): altura máxima entre el borde anterosuperior del cuerpo y el punto de fusión/articulación con la segunda vértebra sacra. Esto ocurre comúnmente en la línea media. Medir con el compás paralelo a la superficie anterior de S1 (compás de corredera) (Raxter et al., 2006).
- Longitud fisiológica o bicondilar del fémur (FBL): es la distancia entre el punto más proximal de la cabeza del fémur hasta un plano dibujado a lo largo de las superficies inferiores de los cóndilos distales. (Tabla osteométrica). Acotación: coloque el fémur en la tabla osteométrica sobre su cara posterior. Presione ambos cóndilos contra la superficie vertical del eje fijo de la tabla mientras desliza la superficie vertical del eje móvil hacia la cabeza del fémur (Langley et al., 2016).
- Longitud de la tibia (XTL): es la distancia desde la superficie articular superior del cóndilo lateral hasta la punta del maléolo medial. (Tabla osteométrica) (Langley et al., 2016) Acotación: colocar el maléolo medial en la superficie vertical del eje fijo de la tabla, con la diáfisis de la tibia paralela al eje longitudinal de la tabla. Fijar la parte móvil contra el aspecto más superior del cóndilo lateral, paralelo a la superficie vertical del eje fijo. Raxter y colaboradores (2006) recomiendan que se utilice una tabla osteométrica “sin rieles” (*trackless*) para esta medida, para permi-

tir la libre colocación del extremo móvil (Raxter et al., 2006).

- Altura astrágalo-calcáneo (TCH): colocar la tróclea en contra de la parte fija de la tabla, con el borde lateral y medial de la tróclea haciendo contacto con la tabla. Colocan la tróclea del astrágalo de modo que el extremo estable de la tabla forme una tangente al punto medio de la superficie troclear. Colocar la parte movable en contra del punto más inferior del tubérculo del calcáneo, paralelo a la parte fija de la tabla (tabla osteométrica) (Raxter et al., 2006).

### Método matemático

Para la estimación de estatura, el método de regresión es el más utilizado y el que comúnmente conocemos como método matemático. Pero antes de entrar de lleno, conoceremos un poco de los antecedentes, para entender como comenzó esta labor. Para posteriormente, llegar a Karl Pearson, que fue el primero en proponer la regresión para la estimación de la estatura.

Al principio, el procedimiento matemático que se utilizó fue el *stature ratio* o índice de estatura, que tiene que ver con la relación de la longitud de segmentos corporales o elementos óseos y la estatura. Según la literatura el pionero fue el profesor de anatomía Jean Joseph Sue (1755) que publicó cuatro medidas corporales (estatura, longitud del tronco, longitud de la extremidad superior e inferior), así como la longitud máxima de varios huesos de catorce cadáveres. Sin embargo, su enfoque no fue de corte médico ni antropológico, sino con el fin de proveer a los artistas de una representación correcta de las proporciones corporales (Stewart, 1979).

Más adelante, el profesor de medicina legal Matthieu Joseph Bonaventure Orfila (1831), retomó el trabajo de Sue (1755) y realizó las mismas medidas en una muestra de 51 cadáveres y 20 esqueletos, difiriendo con el trabajo de Sue (1755) en las unidades de medida utilizadas para las mediciones. A partir de esto, en el año de 1831 publicó las que se consideran las primeras tablas para la predicción de la estatura (Telkkä, 1950; Mendonça, 1998).

El trabajo de Sue y Orfila (1831) se siguió en varios países y algunos autores realizaron sus propias tablas, en Alemania Langer (1872) y Toldt (1882), en Inglaterra Humphry (1858)

y Beddoe (1888) y en los Estados Unidos Beck (1823) (Telkkä, 1950; Stewart, 1979). Aunque estos esfuerzos no dieron los resultados esperados, debido a la interpretación de la equivalencia y correcta definición anatómica de las medidas (Stewart, 1979).

En aquella época, el médico y antropólogo francés Paul Topinard (1888) realizó mejoras a los trabajos previamente reportados. Para ello, combinó los datos de Orfila (1831) y Humphry (1858) con las mediciones que el mismo realizó en un conjunto de 141 esqueletos. Derivado de esto, y a partir de los índices de las longitudes máximas de húmero, radio, fémur y tibia, desarrolló una fórmula para estimar la estatura con un coeficiente de corrección para el tejido blando de 35mm. Además de una serie de recomendaciones para llevar a cabo este tipo de estudios, entre lo cual se puede destacar la obtención de datos esqueléticos mejor documentados (Stewart, 1979).

En los mismos años, el Dr. Etienne Rollet (1888) aconsejado por el médico y profesor Alexandre Lacassagne (1843-1924) para estudiar la determinación de la talla a partir de los huesos largos, publicó su trabajo de tesis doctoral titulado: *De la mesuration des os longs des membres* (Rollet, 1888). Para ello, realizó las medidas de los seis huesos largos en estado fresco de 50 esqueletos femeninos y 50 masculinos. Y con ello, desarrolló las primeras tablas que relacionaron la talla con la longitud de los huesos largos de las extremidades (Mendonça, 1998).

Varios autores más utilizaron los datos producidos por Rollet (1888), uno de ellos fue el antropólogo, anatomista y fisiólogo Léonce-Pierre Manouvrier (1892), él modificó dichas tablas, con una muestra reducida a 24 masculinos y 25 femeninos, debido a que los 51 restantes presentaban una edad mayor a los 60 años. Es importante mencionar, que Manouvrier (1892) presentó dos recomendaciones importantes: una es el restar 20mm para obtener la estatura en vida, ya que la que se presenta en las tablas es la cadavérica. Y, por otro lado, el aumento de 2mm en hueso árido, debido a que el estudio de Rollet (1888) se realizó a partir de hueso húmedo (Telkkä, 1950; Stewart, 1979).

El material del profesor Rollet (1888) fue utilizado también por matemáticos como Karl Pearson (1899); es este último trabajo, uno de los más importantes en el tema de la estatura; ya que se desarrolla el modelo matemático de regresión lineal y correlación de variables al mismo

tiempo que se sientan las bases para su aplicación en la estimación de la estatura (Menéndez, 2014). En dicho trabajo, en lugar de tablas de predicción, Pearson (1899) generó ecuaciones de regresión lineal simples y múltiples para estimar la estatura, tanto en estado húmedo, como árido. Es necesario destacar que, aunque su objetivo tenía que ver con la estimación de la estatura de las poblaciones prehistóricas, es uno de los trabajos que se han utilizado con mayor frecuencia en todos los ámbitos. Es en este punto, que se puede hablar de un método matemático, mismo que marca un parteaguas en las investigaciones referentes a la estimación de la estatura. Siendo que la mayoría de las propuestas y sobre todo las más destacadas e importantes, han sido desarrolladas bajo estos lineamientos.

## PERO... ¿QUÉ ES LA CORRELACIÓN Y LA REGRESIÓN?

Ritchey (2002) menciona que la correlación se conceptualiza como un cambio sistemático en la puntuación de dos variables de intervalo/razón. Por lo que dos de estas variables se correlacionan cuando las mediciones de una de estas variables cambian al mismo tiempo con las medidas de la otra variable. Como ejemplo, en este caso particular, entendemos que los huesos largos de las extremidades (con mayor énfasis los inferiores) presentan una alta correlación con la estatura de los sujetos. Es decir, las personas con estatura alta presentarán huesos grandes de tamaño y viceversa.

El análisis de regresión lineal es un abordaje estadístico que evalúa la relación entre dos o más variables (Christensen et al., 2014). El tipo de regresión más común es la regresión lineal simple, la cual se basa en aplicar una serie de técnicas para encontrar si hay causalidad entre dos variables; lo que significa que si el valor de una variable dependiente (Y) se encuentra correlacionado y puede ser explicado a partir de otra (X) llamada independiente (Castrejón, 2018); y en el caso de que se tengan tres o más variables, se le llama regresión lineal múltiple. En estos fundamentos se basan las ecuaciones de regresión lineal, por lo tanto, si se quiere predecir la estatura, la cual se considera la variable dependiente, se partirá del valor de la longitud de los huesos largos, que representan a la variable independiente.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la correlación que existe entre la estatura y los huesos largos no es perfecta, ya que hay diversas cuestiones que afectan esta característica. Por lo tanto, con los modelos de regresión se tiene una estimación puntual junto con un intervalo de predicción con un porcentaje específico; que por lo general corresponde a un 95% de confiabilidad, debido a que es importante contar con intervalos de predicción que incluyan a la mayoría de los individuos, entendiéndose que el 5% de los casos sería el que podría caer fuera del intervalo. No obstante, con una muestra más grande, las estimaciones mejoran y las diferencias en el intervalo de predicción pueden aminorarse dentro de la distribución (Ousley, 2012; Christensen et al., 2014; Guerrero y Villalobos, 2016).

## Consideraciones para la creación de ecuaciones de regresión lineal

Las ecuaciones de regresión lineal para la estimación de la estatura pueden ser desarrolladas a partir de diversos y diferentes tipos de muestras, como: colecciones osteológicas de referencia, medidas de población viva, imágenes radiográficas, tomografías o mediciones cadavéricas. En cualquiera de los casos, se debe contar con los datos que proporcionen las personas tanto en el caso de los vivos, como de los individuos fallecidos (*datos antemortem*).

Los modelos mencionados comprenden las mediciones de los diferentes elementos óseos; no obstante, los huesos largos de las extremidades son los más utilizados debido a su alta correlación. En el caso específico de la relación entre estatura y los huesos largos de las extremidades, los que presentan mayor correlación suelen ser los huesos de las extremidades inferiores, específicamente el fémur, ya que contribuye más en la estatura (Christensen et al., 2014, Ousley, 2012). Después, dentro de la escala de correlación se encuentran la tibia, la fibula, el húmero; y, por último, la ulna y el radio.

Es necesario entender que, al existir dimorfismo sexual entre hombres y mujeres, entendido como las diferencias en tamaño, forma, proporciones corporales y ritmo de desarrollo o comportamiento (Moore y Ross, 2013), lo óptimo es la creación de fórmulas específicas para cada sexo por separado. No conforme con estas diferencias, además el dimorfismo sexual varía entre poblaciones (Mielke et al., 2011), lo que

lleva a hablar de la variación (especificidad) poblacional. Esta, se encuentra tanto entre como interpoblacionalmente; y está determinada tanto por factores biológicos, genéticos y hormonales, como factores ambientales como nutrición, el ambiente físico, enfermedades y el ambiente sociocultural (socioeconómico) (Relethford, 1994). Por lo que, se ha demostrado que al desarrollar ecuaciones de regresión lineal específico-poblacionales se obtienen mejores resultados (Auerbach y Ruff, 2010; Duyar y Pelin, 2010; Menéndez et al., 2011).

Otro factor por considerar es el cambio secular que, de manera consecutiva, varía poblacionalmente, así como en magnitud y duración (Malina, 2010). Al cambio o tendencia secular se le conceptualiza como las variaciones en el patrón de crecimiento y desarrollo, establecidas por la capacidad de adaptación que presenta un organismo frente a un medio ambiente (Lewontin, 2000). En aras de este cambio secular, no es trivial anotar que, en medida de lo posible, las fórmulas deben permanecer en constante actualización.

## ¿QUIÉN SIGUIÓ A PEARSON?

Existe en la literatura una abundante producción de trabajos referentes a la estimación de estatura a partir de la utilización de la propuesta de Pearson (1899) alrededor del mundo, que es notoriamente sobresaliente en la década de los 50. Sin embargo, existen algunos trabajos destacados anteriores a esta época. El médico Paul Huston Stevenson (1929), desarrolló ecuaciones a partir de una muestra de 48 cadáveres de sexo masculino albergados en el Departamento de Anatomía del *Peiping Union Medical College* en China. Y es el primero que prueba las fórmulas de Pearson (1899) y las compara con las suyas, obteniendo como conclusión que las ecuaciones de Pearson (1899) no arrojan buenos resultados ni viceversa (Stevenson, 1929).

Otros autores no construyeron fórmulas sino tablas, como el antropólogo físico António Mendes-Corrêa (1932), que publicó el trabajo *La taille des Portugais d'après les os longs*, el cual fue logrado con las medidas que realizó a 301 huesos masculinos y 234 femeninos y la comparación con los registros previos de la talla en vida de los hombres solamente. Utilizó las tablas de Manouvrier (1892) y las fórmulas de Pearson (1899) para los cálculos, obteniendo un dato importante: que la estatura en vida es dos

centímetros menor que la estatura cadavérica (Mendonça, 1998, Moore y Ross, 2013). De la misma forma, Breitinger (1937) publicó tablas para la estimación de la estatura de los hombres, pero para Alemania, con base en el método de Pearson (1899). No obstante, el presenta una gran diferencia en cuanto a su muestra, ya que ésta consistió en 2400 hombres vivos (medidos y reportados por Bach en 1926) (Telkkä, 1950).

En general el problema de la especificidad poblacional ha fomentado la producción de trabajos referentes a la estatura a nivel mundial, haciendo que presente dos momentos destacados al respecto; el primero entre los años de 1950 y 1970, y el segundo que va de finales de los años 90 a la fecha actual. El primer periodo, de cierta forma se caracteriza por un claro interés forense en la mayoría de los trabajos, derivado de la segunda guerra mundial y sus consecuencias (Telkkä, 1950; Trotter y Gleser, 1952, 1958).

Antti Telkkä (1950) preocupado por la identificación humana, realizó un trabajo para población finlandesa, con 154 esqueletos (115 masculinos y 39 femeninos) del Departamento de Anatomía de la Universidad de Helsinki. Y obtuvo ecuaciones de regresión lineal, con los seis huesos largos de las extremidades, para cada sexo (Telkkä, 1950).

Ahora bien, en Estados Unidos y con el objetivo de actualizar y mejorar las ecuaciones de Pearson (1899) para su población; los médicos Wesley Dupertuis y John Hadden Jr. (1951) utilizaron 200 esqueletos de hombres y mujeres negros y 200 de blancos pertenecientes a la *Todd Collection* para desarrollar ecuaciones simples a partir de las longitudes máximas de húmero, radio, fémur y tibia y múltiples (con dos o más variables); así como la combinación de sus datos y los de Pearson (1899) para la creación de fórmulas generales, las cuales pudieran ser utilizadas en cualquier grupo humano, con el fin de utilizarlas en el caso de no saber el sexo o la población de procedencia. No obstante, como menciona Stewart (1979) las fórmulas de estos autores fueron olvidadas de manera rápida, debido a que Trotter y Gleser (1952) publicaron su trabajo al año siguiente, al cual le incluyeron ciertos elementos importantes que serán comentados a continuación.

Las Dras. Mildred Trotter y Goldine Gleser (1951) publicaron dos trabajos referentes a la estatura, antes del lanzamiento de sus ecuaciones. Uno relativo a la tendencia en la estatura en americanos, y el otro en cuanto a los efectos de la

edad en la estatura. Estos trabajos son parte del fundamento para la realización de sus fórmulas. Y fue en el año de 1952 cuando publicaron sus ecuaciones para hombres americanos blancos y negros, utilizando la combinación de la estatura en vida y huesos áridos (Trotter y Gleser, 1952). Existen varios elementos por los que su trabajo sobresalió; en principio, porque estas investigadoras tuvieron acceso a los registros *antemortem*, y por tanto contaban con las medidas de la estatura en vida, también introdujeron el primer factor de corrección para la edad y la validación de sus ecuaciones en una segunda muestra (Stewart, 1979; Moore y Ross, 2013).

El médico David Allbrook (1961) realizó fórmulas a partir de población británica viva y de África del este, con la ayuda de una muestra de huesos largos en estado árido para realizar comparaciones. Este investigador tomó la estatura de pie, la tibia y ulna izquierdas. Y para su trabajo consideró el efecto de la edad, comparó las medidas hechas en sujetos vivos y las de huesos en estado árido y el efecto de las proporciones corporales (Allbrook, 1961).

Trotter y Gleser regresaron en 1977 con una corrigenda del trabajo que publicaron años atrás (1952), debido a que había inconsistencias entre la longitud del radio y ulna en los rangos menores y mayores de las mujeres negras. Por lo que el Dr. Stewart remidió un par de radios que mostraban valores extremos, para la posterior modificación de la ecuación (Trotter y Gleser, 1977).

Para finalizar, está el trabajo de Olivier, Aaron, Fully y Tissier (1978) en el que calcularon nuevas estimaciones de la estatura y de la capacidad craneal para la población francesa. En el que se destaca el uso de la regresión múltiple, la cual mencionan se caracteriza por atenuar los errores en las estimaciones.

Con estos ejemplos se observa cómo fueron mejorando los métodos, el interés por probar los trabajos preexistentes y el desarrollo con ecuaciones de regresión para estimar la estatura más precisas y exactas. Fue de manera general, una época de experimentación y de crítica entre los autores del momento, y el nacimiento del interés de estimar la estatura con fines de identificación.

El segundo periodo está enfocado con gran énfasis en la especificidad poblacional, con claros objetivos de mejorar y lograr la identificación de personas desconocidas. Es así como

numerosos países se dieron a la tarea de realizar ecuaciones actualizadas, con diversas muestras y el uso de diferentes metodologías para lograr estimaciones más precisas; lo cual está resumido en la siguiente tabla (tabla 2):

Como se observa en la tabla 2, se han empleado diversas metodologías con la finalidad de obtener muestras para lograr el desarrollo de ecuaciones para estimar la estatura, ya que no todos los países cuentan con colecciones osteológicas. Es notorio el esfuerzo que se ha realizado, la colaboración creciente y el interés en el tema de estimación de estatura en el ámbito de la antropología forense con fines de identificación alrededor del mundo.

## ¿Y EN DÓNDE QUEDÓ MÉXICO?

Se consideró pertinente hablar de lo que se ha realizado en México separado de las propuestas mundiales en general, debido a que es el eje de discusión del presente capítulo. Ahora bien, sabemos que existen pocas propuestas derivadas de población mexicana y para la misma con fines de identificación humana; no obstante, serán presentadas a continuación.

En principio, Trotter y Gleser (1958) emprendieron las investigaciones de estimación de la estatura con propósitos forenses; y gracias a su interés por la identificación de personas, fue que en el año de 1958 lanzaron otro trabajo con el objetivo de validar y reafirmar las ecuaciones presentadas en su artículo de 1952, así como de presentar fórmulas para estimar la estatura de hombres americanos con ascendencia mongol, mexicanos y puertorriqueños; a partir de sujetos masculinos fallecidos en la guerra de Corea (Trotter y Gleser, 1958). Estas investigadoras continuaron utilizando la medida de la estatura en vida y de los elementos óseos esqueléticos para desarrollar dichas fórmulas. Empleando los seis huesos largos de las extremidades (húmero, radio, ulna, fémur, tibia y fíbula) y una muestra más numerosa de sujetos “blancos” y “negros”. Es importante destacar que en su trabajo mencionan el hecho de que la relación existente entre estatura y la longitud de los huesos largos de las extremidades es muy diferente entre las tres muestras principales (“blancos”, “negros” y “descendientes mongoles”); no obstante, indican que los puertorriqueños presentan una relación parecida con los “negros”, y que los mexicanos no son parecidos a ninguna de las otras muestras del estudio (aunque también se debe tener en

**Tabla 2.** Ecuaciones de regresión alrededor del mundo (1998-2018)

<b>Año</b>	<b>Autor</b>	<b>País</b>	<b>Tipo de población</b>	<b>Elemento óseo</b>
1998	Mohanty	India	1000 vivos	Tibia
2000	Mendonça	Portugal	200 cadáveres	Húmero y fémur
2001	Muñoz <i>et al.</i>	España	104 vivos (radiografías)	Húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula
2001	Mall <i>et al.</i>	Alemania	143 cadáveres	Húmero, ulna y radio
2002	Radoinova <i>et al.</i>	Bulgaria	416 cadáveres	Húmero, tibia y fibula
2002	Sanabria y Cuellar	Colombia	60 cadáveres	Tibia
2002	Nath y Badkur	India	144 esqueletos	Húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula
2003	Duyar y Pelin	Turquía	231 vivos	Tibia
2005	Hauser <i>et al.</i>	Polonia	91 cadáveres	Fémur
2006	Sarajlic <i>et al.</i>	Bosnia	50 cadáveres (radiografías)	Fémur, tibia y fibula
2006	Celbis y Agritmis	Turquía	127 cadáveres	Radio y ulna
2006	Duyar <i>et al.</i>	Turquía	242 vivos	Ulna y tibia
2007	Petroveckí <i>et al.</i>	Croacia	40 cadáveres (radiografías)	Húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula
2007	Bhavna y Nath	India	503 vivos	Fémur, tibia y fibula
2008	Spradley <i>et al.</i>	Hispanos	29 esqueletos	Fémur
2008	Jantz <i>et al.</i>	Kosovo, Bosnia y Croacia	532, 31 y 85 esqueletos	Fémur
2008	Ebite <i>et al.</i>	Nigeria	109 vivos	Ulna
2009	Mantilla <i>et al.</i>	Colombia	168 cadáveres	Tibia
2009	Agnihotri <i>et al.</i>	Indo-mauritana	160 vivos	Tibia y ulna
2009	Didia <i>et al.</i>	Nigeria	200 vivos	Tibia
2010	Kieffer	Estados Unidos	50 radiografías	Tibia y fibula
2010	Wilson <i>et al.</i>	Estados Unidos	242 documentos	Húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula
2011	Belmonte <i>et al.</i>	España	35 cadáveres	Tibia
2011	Mahakkanukrauh <i>et al.</i>	Tailandia	200 esqueletos	Húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula
2012	Sargin <i>et al.</i>	Turquía	140 cadáveres	Ulna y tibia
2013	Gocha <i>et al.</i>	Tailandia, China y Laos	64 esqueletos	Húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula
2016	Jeong y Jantz	Corea	113 esqueletos	Húmero, radio, fémur y tibia
2018	Pomeroy <i>et al.</i>	India	160 vivos (densitometría ósea)	Húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula
2018	Chiba <i>et al.</i>	Japón y Mongolia	224 cadáveres (tomografías)	Fémur

Fuente: Elaboración propia



mente, lo reducido de la muestra de 45-63 casos) (Trotter y Gleser, 1958).

Sin embargo, la primera propuesta realizada en México es la del Dr. Santiago Genovés en 1966. Si bien el objetivo de su trabajo no era de corte forense, es el pionero en nuestro país y, no obstante, se ha utilizado con fines de identificación. Esta investigación la realizó con los cadáveres utilizados para disección por los alumnos de la antes Escuela Nacional de Medicina, ahora Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); con la finalidad de producir fórmulas para reconstruir la estatura de las poblaciones mesoamericanas. Es importante destacar que la selección de su muestra fue rigurosa con el propósito de elegir a los individuos con mayor componente indígena. Para ello, analizó 280 cadáveres buscando características morfoscópias particulares (color de piel, de ojos, diente en pala, pilosidad, entre otros), procedencia, antecedentes y un análisis para conocer su tipo de sangre. Al término de esta serie de requisitos, la muestra resultó de 98 individuos (69 masculinos y 29 femeninos), con los que elaboró tres ecuaciones de regresión para ambos sexos. A partir del fémur, la tibia (por ser considerados los huesos que poseen mayor correlación con la estatura) y una múltiple con todos los huesos largos de las extremidades. De la misma forma, elaboró tablas de proporcionalidad entre los huesos largos y la estatura, con las cuales se puede obtener la talla con cualquiera de los seis huesos largos. Su trabajo fue publicado por la UNAM en 1966 y en 1967 en *American Journal of Physical Anthropology*.

Después de varios años, Andrés del Ángel y Héctor B. Cisneros (2004) recalcularon las fórmulas para fémur y tibia y, además calcularon las ecuaciones para húmero, ulna, radio y fíbula, a partir de las tablas publicadas por Genovés (1966).

En 2011 Menéndez y colaboradores se replantearon la pertinencia en cuanto al uso de las ecuaciones de regresión lineal existentes en la población contemporánea mexicana. Para ello, compararon las más utilizadas: Pearson (1899), Trotter y Gleser (1958), Genovés (1967) y Del Ángel y Cisneros (2004) en la Colección-UNAM, albergada en el Laboratorio de Antropología Física del Departamento de Anatomía de la Facultad de la UNAM.

Saul Chay y colaboradores (2018) desarrollaron dos ecuaciones de regresión lineal a partir de la medición percutánea de la tibia, con

dos muestras de ambos sexos, pertenecientes a poblaciones contemporáneas de Yucatán. La primera muestra de 100 individuos originarios de la comunidad de Dzemul y la segunda compuesta por 71 sujetos de la ciudad de Mérida. Dentro de la investigación, se destacan las fuertes correlaciones que obtuvieron entre la estatura y la longitud de la tibia para ambos grupos; así como la puntualización en cuanto al uso de las fórmulas, ya que mencionan que la propuesta construida con los individuos de Mérida es más apropiada para ser utilizada en poblaciones yucatecas contemporáneas, mientras que la de Dzemul puede ser utilizada también en casos bioarqueológicos.

Con la finalidad de contar con nuevas ecuaciones de regresión lineal para la estimación de la estatura de la población mexicana contemporánea, Menéndez Garmendia, Sánchez-Mejorada y Gómez-Valdés (2018) publicaron un trabajo en el *Journal of Forensic and Legal Medicine*, en el cual presentan fórmulas para ambos sexos húmero, fémur y tibia (tabla 3). Debido a que ninguna de las series esqueléticas que se tienen en México cuentan con el dato de la estatura en vida, las fórmulas fueron elaboradas a partir de cadáveres, mismos que son utilizados por los alumnos de la Facultad de Medicina de la UNAM para las prácticas de disección anatómica. La metodología que se siguió para la obtención de las estaturas cadavéricas y las medidas de los huesos largos de las extremidades fue la propuesta por Menéndez y colaboradores (2014).

## POR QUÉ, CÓMO Y QUÉ FÓRMULAS APLICAR

En primera instancia se menciona que en México no se cuenta con propuestas actualizadas con fines de identificación humana, y las existentes no subsanan el problema debido a diversos factores. Menéndez et al. (2011) probaron la funcionalidad de cada una de las fórmulas que se han realizado para población mexicana, y encontraron que las ecuaciones de Trotter y Gleser (1958) son exclusivas para el sexo masculino, sobreestiman en algunos casos las estaturas; y además no están actualizadas. Por otro lado, Genovés (1967) desarrolló sus fórmulas para estimar la estatura de las poblaciones mesoamericanas; y por otro lado, las fórmulas múltiples que propuso estiman erróneamente la estatura. Y finalmente, Del Ángel y Cisneros (2004) presentan un modelo determinístico y no probabilístico, debido a que tomaron los datos ya calculados y sus fórmulas

**Tabla 3.** Modelos de regresión de mínimos cuadrados y parámetros estadísticos relativos

	R	p	R2	R2 ajustado	g. L.	F	p	t	p	Constante $\beta_0$	Coefficiente $\beta_1$	SE(y)	DW
<b>Masculino</b>	Húmero	0.829	<0.0001	0.687	0.681	54	118.482	0.0000	10.885	51.6404	3.5756	4.10	2.009
	Fémur	0.788	<0.0001	0.621	0.614	54	88.348	0.0000	5.278	58.5371	2.4211	4.51	1.930
	Tibia	0.855	<0.0001	0.732	0.727	54	147.150	0.0000	12.131	62.1694	2.7730	3.80	1.994
<b>Femenino</b>	Húmero	0.760	<0.0001	0.577	0.562	28	38.244	0.0000	6.184	29.2104	4.2294	5.42	2.604
	Fémur	0.820	<0.0001	0.673	0.661	28	57.585	0.0000	7.589	25.7316	3.1379	4.77	2.525
	Tibia	0.708	<0.0001	0.502	0.484	28	28.216	0.0000	5.312	51.5941	3.0067	5.89	2.017

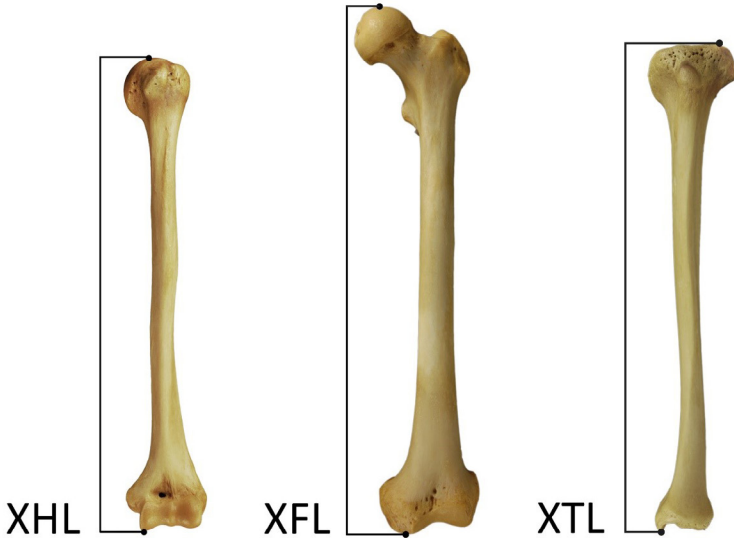
Fuente: Elaboración propia a partir de Menéndez et al., 2018

modificadas tienden a subestimar las estaturas de los sujetos.

Por las anteriores razones, se recomienda utilizar la propuesta de Menéndez Garmendia, Sánchez-Mejorada y Gómez-Valdés (2018) para estimar la estatura de la población mexicana contemporánea con fines de identificación humana.

Ahora bien, para aplicarla es necesario medir las longitudes máximas del húmero, fémur o tibia, y para ello, las definiciones se presentan a continuación (figura 2):

- Longitud máxima de húmero (XHL): es la distancia directa desde el punto más superior de la cabeza del humero hasta el punto más inferior de la tróclea. Instrumento: tabla osteométrica. Acotación: coloque el húmero en la tabla osteométrica, con el eje longitudinal del hueso paralelo al eje de la tabla osteométrica. Sitúe la cabeza del húmero contra la superficie vertical del eje fijo de la tabla mientras desliza la superficie vertical del eje movable hacia la tróclea. Mueva el hueso hacia arriba, abajo y a los lados hasta obtener la longitud máxima (Langley et al., 2016).
- Longitud máxima del fémur (XFL): distancia desde el punto más proximal (superior) de la cabeza del fémur hasta el punto más distal en el cóndilo femoral lateral o medial. Instrumento: tabla osteométrica. Acotación: coloque el fémur paralelo al eje longitudinal de la tabla osteométrica sobre su cara posterior. Presione el cóndilo lateral o medial contra la superficie vertical del eje fijo de la tabla mientras desliza la superficie vertical del eje movable hacia la cabeza del fémur. Mueva el hueso hacia arriba, abajo y a los lados hasta obtener la longitud máxima (Langley et al., 2016).
- Longitud de tibia (sin espina) (XTL): es la distancia desde la superficie articular superior del cóndilo lateral hasta la punta del maléolo medial. Instrumento: tabla osteométrica. Acotación: una tabla osteométrica con un agujero para la eminencia intercondilar (espina) hace que la medida sea más fácil de realizar. Coloque la tibia en la tabla osteométrica apoyada en su cara posterior con el eje longitudinal del hueso paralelo al eje de la tabla osteométrica. Si se utiliza una tabla osteométrica sin agujero, coloque la tibia



**Figura 2.** Longitudes máximas de huesos largos (húmero, fémur y tibia)

Longitud máxima de húmero (XHL), Longitud máxima del fémur (XFL), Longitud de tibia (sin espina) (XTL).

Fuente: Langley et al., (2016).

en la tabla para que el eje longitudinal del hueso quede paralelo al eje de la tabla. La medida se toma del cóndilo lateral hasta la punta del maléolo medial (Langley et al., 2016).

Posteriormente se aplican las ecuaciones de regresión de la siguiente manera:

Estatura= constante + coeficiente x longitud máxima en cm ± SE (desviación estándar)

Para que la fórmula sea de la siguiente forma:

*Masculinos*

- Estatura= 51.6404 + 3.5756 (húmero) ± 4.10 cm
- Estatura= 58.5371 + 2.4211 (fémur) ± 4.51 cm
- Estatura= 62.1694 + 2.7730 (tibia) ± 3.80 cm

*Femeninos*

- Estatura= 29.2104 + 4.2294 (húmero) ± 5.42 cm
- Estatura= 25.7316 + 3.1379 (fémur) ± 4.77 cm

- Estatura= 51.5941 + 3.0067 (tibia) ± 5.89 cm

**CONSIDERACIONES EN TORNO A LA ESTATURA**

**Huesos fragmentados**

En muchos contextos se encuentran elementos óseos fragmentados y/o incompletos, ya sea por cuestiones tafonómicas o intencionales, por lo que la creación del perfil biológico para identificación se vuelca complicado. A pesar de ello, es posible estimar la estatura a partir de huesos fragmentados, ya que los métodos están basados en el principio de que existe una correlación entre la longitud de los segmentos y su longitud total (Christensen et al., 2014). Algunos estudios han investigado la proporción de los diferentes segmentos del hueso comparados con la longitud total (Moore y Ross, 2013).

Bidmos (2009) menciona que existen dos métodos para estimar la estatura a partir de los fragmentos de los huesos largos: el indirecto y el directo. El primero se refiere a estimar la longitud máxima de un hueso por la medida de los fragmentos y posteriormente aplicar la ecuación de regresión lineal que le corresponda. Mientras que el directo, permite estimar la estatura directamente con las medidas de los fragmentos de manera individual o en combinación.

En México no se cuenta con propuestas para esta tarea; pero alrededor del mundo existen algunas. Steele y McKern (1969) fueron los primeros en publicar un trabajo referente a esto, con fórmulas para húmero, fémur y tibia para obtener la longitud total. Un año después, Steele (1970) realizó ecuaciones para estimar la estatura a partir de los segmentos de los huesos largos de manera directa y le añadió un factor de corrección de edad.

Simmons y colaboradores (1990) realizan una propuesta para estimar la estatura a partir de fragmentos del fémur con nuevas ecuaciones. Los autores argumentan que su propuesta presenta resultados más precisos que los de Steele (1970) debido a que: su muestra es más grande, los puntos de referencia (*landmarks*) para las medidas están bien definidos y, por ende, son fáciles de localizar, y, por último, porque los errores de estimación son iguales o mejores que los de Steele (1970). Por otra parte, Holland (1992) propone ecuaciones para estimar la estatura por medio de la tibia, específicamente del extremo proximal. Y aclara que es una propuesta suplementaria a los otros métodos existentes, ya que considera que la estatura debe tomarse utilizando la técnica más confiable con el mejor elemento óseo, y que su técnica debe utilizarse, si el extremo proximal de la tibia es lo único con que se cuenta.

Mendonça (2000) realizó fórmulas y tablas de consulta con el húmero y fémur de población portuguesa. La autora considera que pueden ser aplicadas a sujetos del norte de Portugal y de la península ibérica. También menciona que es mejor utilizar las ecuaciones que las tablas de consulta y que el fémur arroja mejores resultados que el húmero.

El trabajo de Wright y Vásquez (2003) se desarrolló con una muestra de esqueletos mayas de exhumaciones forenses en Guatemala. Los autores proponen ecuaciones para húmero, fémur, tibia y fíbula; a partir de la propuesta de Steele (1970). Concluyen que su propuesta es la más

adecuada para el contexto forense de Guatemala y de las naciones centroamericanas cercanas.

Chibba y Bidmos (2007) y Bidmos (2008) presentaron fórmulas para sujetos surafricanos con ascendencia europea para reconstruir la estatura mediante la tibia y el fémur respectivamente. En ambos aclaran que la exactitud en sus ecuaciones es menor que con los huesos largos intactos, pero que, en la ausencia de estos se pueden obtener estimaciones de la estatura razonables.

En general los autores concuerdan en que la precisión puede verse reducida y en que el intervalo de predicción se vuelve más amplio, que cuando se aplican ecuaciones a huesos largos completos. No obstante, también concuerdan en que se utilicen en los casos en los que no se tengan elementos óseos completos.

## ESTATURA A PARTIR DE OTROS ELEMENTOS ÓSEOS

No siempre es posible recuperar los huesos largos de las extremidades en contextos forenses, por ello es que se han utilizado algunos otros elementos óseos para estimar la estatura. Sin embargo, no suelen tener la misma eficacia y exactitud, debido a que su correlación con la estatura es más baja, que la que presentan los huesos largos. En México se cuenta con una sola propuesta en el tema, se trata de la tesis de Pimienta y Gallardo (1996) en la que se utilizan los metacarpos para estimar la estatura. Lo interesante de este trabajo es que se utilizó población viva para construir ecuaciones de regresión para estimar la estatura de los individuos de los entierros del templo de Quetzalcóatl en Teotihuacán. No obstante, la correlación para mujeres no excede  $R = 0.73$  y para hombres  $R = 0.69$ .

Y el trabajo de González-Gómez et al. (2016) que corresponde a un estudio exploratorio en el que probaron el método odontológico de Carrea (1920) en cadáveres mexicanos del Servicio Médico Forense (SEMEFO) de Veracruz, como en el de la Ciudad de México. Concluyen que al utilizar la talla mínima propuesta por Carrea (1920) como referencia, el método resultó adecuado para estimar la talla. Sin embargo, deja claro que resulta un método complementario.

En el mundo se han realizado trabajos con diferentes huesos del esqueleto: el calcáneo y astrágalo (Holland, 1995), calcáneo (Bidmos y

Asala, 2005), cráneo con diversas metodologías (Illyperuma, 2010; Giurazza et al., 2012; Shrestha et al., 2015; Torimitsu et al., 2016; Kyllonen et al., 2017) y específicamente con el foramen magno (Cui et al., 2013); vértebras como la primera y segunda vértebra cervical con tomografías (Rodríguez et al., 2016, Torimitsu et al., 2015), los segmentos cervical, torácico y lumbar de la columna (Jason y Taylor, 1995); clavícula con tomografía computada y cadáveres (Rani et al., 2011; Balvir et al., 2012; Torimitsu et al., 2017); escápula a partir de tomografías (Torimitsu et al., 2015; Zhang et al., 2016); varias propuestas derivadas del esternón (Menezes et al., 2009 y 2011; Singh et al., 2011; Zhang et al., 2015; Yonguc et al., 2015); pelvis y/o sacro (Pelin et al., 2005; Giroux y Wescott, 2008; Pininski y Brits, 2014; Torimitsu et al., 2015); metatarsos y metacarpos (Musgrave y Harneja, 1978; Byers et al., 1989; Meadows y Jantz, 1992; Bidmos, 2008; Cordeiro et al. 2009; Rodríguez et al., 2013; Rodríguez et al., 2014). De manera general, la correlación de los elementos óseos utilizados en estos estudios no es tan alta como la que existe entre los huesos largos de las extremidades y la estatura; no obstante, son aceptables y todos los autores sugieren que, en el caso de no contar con los elementos óseos idóneos, podrían ser utilizadas.

## ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA EN SUBADULTOS (HUESOS LARGOS)

La investigación en cuanto a estimación de la estatura en subadultos, no ha sido tan amplia como en adultos ya que es mucho más compleja, principalmente debido a los patrones de crecimiento y a la dificultad o imposibilidad para estimar el sexo, la edad y la ancestría. No obstante, en casos que implican elementos óseos mezclados, en contextos de guerra o desastres en masa puede ser de mucha ayuda (Smith, 2007, Moore y Ross, 2013 y Christensen et al., 2014) o cuando un niño ha estado expuesto a desnutrición, ya que la estatura puede verse afectada (Smith, 2007).

Moore y Ross (2013) mencionan que la estatura se correlaciona de manera lineal con los seis huesos largos de las extremidades entre los 10-15 años, mientras que de 1 a 9 años la excepción ocurre con el fémur, el cual no escala al mismo tiempo que los demás huesos.

Los primeros trabajos son los de Balthazard y Devieux (1921) y Smith y Moritz (1939) que utilizaron las medidas de la estatura para estimar la edad de subadultos franceses (Lewis y Rutty, 2003; Moore y Ross, 2013).

Existen varios trabajos realizados por Teikkä, Palkama y Vertama (1962) para los cuales utilizaron radiografías de los huesos largos para estimar la estatura de subadultos de origen finlandés. Por otra parte, Fazekas y Kósa (1966) midieron los restos de 138 esqueletos de fetos húngaros, de edad, sexo y estatura conocidos y propusieron fórmulas de regresión por medio de la longitud de los huesos largos (Moore y Ross, 2013; Rodríguez, 2004). En 1972 Mehta y Sing realizaron ecuaciones de regresión para húmero y fémur, a partir de 50 fetos (Moore y Ross, 2013; Mehta y Sing, 1972). En Estados Unidos, Shelley Smith (2007) desarrolló ecuaciones de regresión con base en los registros del estudio de crecimiento de Denver (*Denver growth study*) de 67 niños de 3-10 años. Calculó fórmulas de regresión simple, para los seis huesos largos de las extremidades, y una múltiple que incluye el fémur y la tibia, tanto para niñas, como para niños, y otro conjunto de fórmulas para los casos en los que no se conoce el sexo. Y Cardoso (2009) prueba tres métodos en una muestra de nueve niños de la colección osteológica de Lisboa, Portugal, y resalta la importancia del estatus socioeconómico de los niños, para la interpretación de la estatura.

Brits, Bidmos y Manger (2017) realizaron su estudio a partir de resonancia magnética (escanogramas) de sujetos vivos sudafricanos de 10 a 17 años, para obtener las ecuaciones de regresión con fémur y tibia, para ambos sexos y combinados (*pooled*). En el estudio limitan un poco sus conclusiones ya que consideran que la muestras son pequeñas y al juntarlas presentan menor precisión en las estimaciones; no obstante, las correlaciones son altas entre la estatura y las longitudes de fémur y tibia. Posteriormente, en 2018 probaron el método anatómico en la misma muestra a partir de las imágenes de resonancia magnética. Sobre estas se hicieron las mediciones del método anatómico con la diferencia de que se tomaron tres longitudes del fémur (diafisaria, fisiológica, y máxima) y dos de la tibia (máxima y diafisaria). Estos autores obtuvieron fórmulas con las tres medidas que presentaron correlaciones altas. De hecho, mencionan que las ecuaciones mediante el método anatómico muestran mayor precisión, que las fórmulas derivadas

de huesos largos. Finalmente, mencionan nuevamente lo reducido de su muestra, y la pertinencia de validar sus fórmulas en hueso árido.

La estimación de la estatura en subadultos no suele realizarse de manera frecuente y la investigación en el tema se ve un poco limitada por las cuestiones individuales y poblacionales de crecimiento, desarrollo y alometría (Lewis y Ratty, 2003; Brits et al., 2018). A pesar de ello, y como ya se mencionó, los autores concuerdan en que existen contextos en los cuales este tipo de trabajos pueden ser muy valiosos. Y se ha observado que, a través del tiempo, las propuestas han mejorado, así como las metodologías para llevarlas a cabo.

## CONSIDERACIONES FINALES

La estatura es un rasgo cuantitativo complejo que es altamente heredable, ya que más del 90% de su variación es influenciada por factores genéticos (Dauber et al., 2011). Sin embargo, a pesar de su gran heredabilidad, su expresión también se encuentra supeditada a diversos factores ambientales y a la calidad de estos durante el crecimiento (Vercellotti et al., 2014). Gracias a que existe esta interacción biológica, cultural y ambiental diferencial en el proceso de crecimiento y desarrollo, es que se clarifica el hecho de que existan variaciones significativas dentro y entre las poblaciones en la estatura. A partir de lo anterior, y al factor de la variación inter-poblacional en las proporciones corporales y la tendencia secular, es que se explica la necesidad de contar con métodos específico poblacionales para la estimación de la estatura (Menéndez et al., 2018; Pomeroy et al., 2018).

Es posible estimar la estatura de individuos a partir de restos óseos debido a que existe una relación directa entre la talla y la longitud de los huesos. Sin embargo, se debe tener muy clara la idea de que esta estatura corresponde a una aproximación al valor real (Mendonça, 2000; Menéndez, 2014).

Es en el ámbito forense en donde cobra importancia, ya que es parte de los datos básicos para construir el perfil biológico que ayude a la identificación a partir de los restos óseos. Conocer la estatura tiene dos objetivos principales: buscar y/o conocer la identidad de un individuo desconocido; y en el caso de sujetos conocidos (desaparecidos) utilizar el dato como cotejo con los datos que proporcionen los familiares. Dado lo anterior, se considera necesaria la existencia de algún documento de carácter oficial (INE, licencia de manejo, pasaporte, entre otros) en el que se cuente con la estatura (Menéndez, 2014).

El método anatómico (Raxter et al., 2006) muestra mayor precisión en la estimación de la estatura y puede ser utilizado para la construcción de ecuaciones de regresión, en los casos en que no se cuente con referencia previa de los individuos esqueletizados. El problema principal es la necesidad de contar prácticamente con el esqueleto completo y el tiempo que se requiere para llevarlo a cabo. Por lo tanto, no parece ser tan viable utilizarlo en contextos forenses, empero, se recomienda su aplicación en medida de lo posible.

En el caso de las ecuaciones de regresión, siempre será lo mejor utilizar las que han sido desarrolladas a partir de la población de la que se esté haciendo el análisis. O en su defecto, buscar las fórmulas de la población que tenga proporciones corporales similares, para obtener la estimación matemática más precisa (Raxter et al., 2006).

Existen opiniones diversas en cuanto a la estimación de estatura de subadultos y a partir de huesos fragmentados, aunado a que en México no se cuentan con propuestas en este sentido. Es por ello, que se considera necesario probar los métodos existentes para huesos fragmentados y para subadultos y/o el desarrollo de ecuaciones de regresión específico poblacionales para individuos mexicanos.

## REFERENCIAS CITADAS

- Agnihotri AK, Kachhwaha S, Jowaheer V, Singh AP. 2009. Estimating stature from percutaneous length of tibia and ulna in Indo-Mauritian population. *Forensic Sci Int* 187:4-6.
- Allbrook D. 1961. The estimation of stature in British and east African males. *J Forensic Med* 8(1): 15-28.
- Auerbach BM, Ruff CB. 2010. Stature Estimation Formulae for Indigenous North American Populations. *Am J Phys Anthropol* 141(2): 190-207.

- Auerbach BM. 2011. Methods for estimating missing human skeletal element osteometric dimensions employed in the revised fully technique for estimating stature. *Am J Phys Anthropol* 145:67–80.
- Balvir TK, Deshpande JV, Badwaik P, Rahule AS, Kasote A, Bashir M. 2012. Estimation of stature from the length of clavicle in Vidarbha region of Maharashtra. *Int J Biol Med Res* 3:2254–2256.
- Béguelin M. 2009. Stature estimation in a central Patagonian prehispanic population: Development of new models considering specific body proportions. *Int J Osteoarchaeol* 21: 150–158.
- Belmonte MT, Sánchez Blanque JL, Alemán I, Botella MC. 2011. Estimación de la estatura a través de la tibia en población contemporánea española adulta femenina. *Cuad Med Forense* 17:83–89.
- Bidmos M, Asala S. 2005. Calcaneal measurement in estimation of stature of South African blacks. *Am J Phys Anthropol* 126:335–342.
- Bidmos MA. 2008. Metatarsals in the estimation of stature in South Africans. *J Forensic Leg Med* 15:505–9.
- Bidmos MA. 2008. Stature reconstruction using fragmentary femora in South Africans of European descent. *J Forensic Sci* 53:1044–1048.
- Bidmos MA. 2009. Fragmentary femora: Evaluation of the accuracy of the direct and indirect methods in stature reconstruction. *Forensic Sci Int* 192.
- Bogin B. 1999. Background to the study of human growth. In: *Patterns of human growth*. Segunda edición. Reino U.K: Cambridge University Press.
- Brits DM, Bidmos MA, Manger PR. 2017. Stature estimation from the femur and tibia in Black South African sub-adults. *Forensic Sci Int* 270:277.e1-277.e10.
- Brits D, Manger PR, Bidmos MA. 2018. Assessing the use of the anatomical method for the estimation of sub-adult stature in Black South Africans. *Forensic Sci Int* 283:221.e1-221.e9.
- Byers S, Akoshima K, Curran B. 1989. Determination of adult stature from metatarsal length. *Am J Phys Anthropol* 79:275–279.
- Calzada LR. 2007. *Identificación y manejo del niño con talla baja*. Mexico: Intersistemas editores.
- Cameron N. 2012. The human growth curve canalization and catch-up growth. En: Cameron N, Bogin B, editors. *Human growth and development 2ª ed.* U.S.A: Elsevier. p 1-22.
- Cardoso HFV. 2009. A test of three methods for estimating stature from immature skeletal remains using long bone lengths. *J Forensic Sci* 54:13–19.
- Castrejón JL. 2018. Estadística y bioestadística. <https://sites.google.com/site/biostatistica/> (01 de septiembre de 2018).
- Celbis O, Agritmis H. 2006. Estimation of stature and determination of sex from radial and ulnar bone lengths in a Turkish corpse sample. *Forensic Sci Int* 158:135–139.
- Chay S, Batún J, Vázquez-Gómez A, Tiesler V, Dickinson F. 2018. New linear regression equations to calculate body height from tibial length in modern Maya populations. *HOMO* 69(6): 340-346.
- Chiba F, Makino Y, Torimitsu S, Motomura A, Inokuchi G, Ishii N, Hoshioka Y, Abe H, Yamaguchi R, Sakuma A, Nagasawa S, Saito H, Yajima D, Fukui Y, Iwase H. 2018. Stature estimation based on femoral measurements in the modern Japanese population: a cadaveric study using multidetector computed tomography. *Int J Legal Med*:1485–1491.
- Chibba K, Bidmos MA. 2007. Using tibia fragments from South Africans of European descent to estimate maximum tibia length and stature. *Forensic Sci Int* 169:145–151.
- Christensen AM, Passalacqua NV, Bartelik EJ. 2014. *Forensic Anthropology. Current methods and practice*. U.S.A: Elsevier Inc.
- Cordeiro C, Muñoz-Barús JI, Wasterlain S, Cunha E, Vieira DN. 2009. Predicting adult stature from metatarsal length in a Portuguese population. *Forensic Sci Int* 193:131.e1-4.
- Cui Y, Zhang J. 2013. Stature estimation from foramen magnum region in chinese population. *J Forensic Sci* 58:1127–1133.

- Dauber A, Yu Y, Turchin MC, Chiang CW, Meng YA, Demerath EW, Patel SR, Rich SS, Rotter JI, Schreiner PJ, Wilson JG, Shen Y, Wu BL, Hirschhorn JN. 2011. Genome-wide association of copy-number variation reveals an association between short stature and the presence of low-frequency genomic deletions. *Am J Hum Genet* 89:751-759.
- Del Ángel A, Cisneros BH. 2004. Technical note: Modification of regression equations used to estimate stature in Mesoamerican skeletal remains. *Am J Phys Anthropol* 125:264-265.
- Didia BC, Nduka EC, Adele O. 2009. Stature estimation formulae for Nigerians. *J Forensic Sci* 54:20-21.
- Dupertuis CW, Hadden JA. 1951. On the reconstruction of stature from long bones. *Am J Phys Anthropol* 9: 15-54.
- Duyar I, Pelin C. 2003. Body height estimation based on tibia length in different stature groups. *Am J Phys Anthropol* 122:23-27.
- Duyar I, Pelin CAN, Zagyapan R. 2006. A new method of stature estimation for forensic anthropological application. *Anthropol Sci* 114:23-27.
- Duyar I, Pelin C. 2010. Estimating body height from ulna length: need of a population-specific formula. *Eurasian J Anthropol* 1(1):11-17.
- Ebite LE, Ozoko TC, Eweka AO, Otuaga PO, Oni AO, Om'Iniabobs FAE. 2008. Height: ulna ratio: a method of stature estimation in a rural community in Edo State, Nigeria. *Internet J Forensic Sci*, 3(1).
- Fully G, Pineau H. 1960. Détermination de la stature au moyen du squelette. *Ann Méd Lég* 40:145-154.
- Genovés S. 1966. La proporcionalidad entre los huesos largos y su relación con la estatura en restos mesoamericanos. Serie Antropológica, No. 19, Publicaciones del Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Genovés S. 1967. Proportionality of the long bones and their relation to stature among Mesoamericans. *Am J Phys Anthropol* 26 (1): 67-78.
- Giroux CL, Wescott DJ. 2008. Stature estimation based on dimensions of the bony pelvis and proximal femur. *J Forensic Sci* 53:65-68.
- Giurazza F, Del Vescovo R, Schena E, Battisti S, Cazzato RL, Grasso FR, Silvestri S, Denaro V, Zobel BB. 2012. Determination of stature from skeletal and skull measurements by CT scan evaluation. *Forensic Sci Int* 222:398.
- Gocha TP, Vercellotti G, McCormick LE, Van Deest TL. 2013. Formulae for estimating skeletal height in modern South-East Asians. *J Forensic Sci* 58:1279-1283.
- González-Gómez J, Melo-Santiesteban G, Cerda-Flores R, Calderón-Garcidueñas A. 2015. Evaluación forense comparativa del método odontológico de Carrea para estimar la talla real en cadáveres mexicanos. *Rev Esp Med Legal* 42 (2): 48-54.
- Guerrero Rodríguez JM, Villalobos Fuentes CA. 2016. Estimación de la estura en antropología forense. En: Sanabria Medina C, editor. *Patología y antropología forense de la muerte: La investigación científico-jurídica de la muerte y la tortura, desde las fosas clandestinas, hasta la audiencia pública*. Colombia: Forensic Publisher. p 293-311.
- Hauser R, Smolinski J, Gos T. 2005. The estimation of stature on the basis of measurements of the femur. *Forensic Sci Int* 147:185-190.
- Holland TD. 1992. Estimation of adult stature from fragmentary tibias. *J Forensic Sci* 37:1223-1229.
- Holland TD. 2005. Estimation of adult stature from the calcaneus and talus. *Am J Phys Anthropol* 96:315-320.
- Ilayperuma I. 2010. On the Prediction of Personal Stature from Cranial Dimensions. *IntJ,Morphol* 28:1135-1140.
- Jantz RL, Kimmerle EH, Baraybar JP. 2008. Sexing and Stature Estimation Criteria for Balkan Populations. 53:601-605.
- Jason DR, Taylor K. 1995. Estimation of stature from the length of the cervical, thoracic, and lumbar segments of the spine in American whites and blacks. *J Forensic Sci* 40:59-62.
- Jeong Y, Jantz LM. 2016. Developing Korean-specific equations of stature estimation. *Forensic Sci Int* 260:105.e1-105.e11.



- Kieffer CL. 2010. Tibia and fibula stature formulae for modern female populations based on digital radiographic measurements. *J Forensic Sci* 55:695–700.
- Krenzer U. 2006. Compendio de métodos antropológico forenses. Para la reconstrucción del perfil osteo-biológico. Tomo V. Guatemala: CAFCA.
- Kyllonen KM, Simmons-Ehrhardt T, Monson KL. 2017. Stature estimation using measurements of the cranium for populations in the United States. *Forensic Sci Int* 281:184.e1-184.e9.
- Langley NR, Jantz LM, Ousley SD, Jantz RL, Milner G. 2016. Data Collection Procedures for Forensic Skeletal Material 2.0. U.S.A: Department of Anthropology, The University of Tennessee.
- Lewis ME, Rutty GN. 2003. The endangered child: The personal identification of children in forensic anthropology. *Sci Justice - J Forensic Sci Soc* 43:201–209.
- Lewontin R. 2000. Genes, organismo y ambiente: las relaciones de causa y efecto en biología. México: Editorial Gedisa.
- Mahakkanukrauh P, Khanpetch P, Prasitwattanseree S, Vichairat K, Case TD. 2011. Stature estimation from long bone lengths in a Thai population. *Forensic Sci Int* 210:279.e1-279.e7.
- Malina R. 2010. Growth and maturation. Interactions and sources of variation. En: Mascie-Taylor et al., editores. Human variation. From the laboratory to the field. U.S.A: CRC Press. p 199-218.
- Mall G, Hubig M, Büttner A, Kuznik J, Penning R, Graw M. 2001. Sex determination and estimation of stature from the longbones of the arm. *Forensic Sci Int* 117:23–30.
- Mantilla HJC, Cárdenas DN, Jácome BJM. 2009. Estimación de la talla a partir de la medida de la tibia en población colombiana. *Int J Morphol* 27:305–309.
- Meadows L, Jantz RL. 1992. Estimation of stature from metacarpal lengths. *J Forensic Sci* 37:147–154.
- Meazza C, Gertosio C, Giaccherio R, Pagani S, Bozzola M. 2017. Tall stature: a difficult diagnosis? *Ital J Pediatr* 43:66.
- Mendonça MC. 1998. Contribución para la identificación humana a partir de estudios de las estructuras óseas. Determinación de la talla a través de la longitud de los huesos largos [tesis de grado]. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Mendonça MC. 2000. Estimation of height from the length of long bones in a Portuguese adult population. *Am J Phys Anthropol* 112:39–48.
- Menéndez A, Gómez-Valdés J, Sánchez-Mejorada G. 2011. Comparación de ecuaciones de regresión lineal para estimar estatura en restos óseos humanos en población mexicana. *Antropo* 25:11-21
- Menéndez Garmendia GA. 2014. ¿Por qué y para qué medir a alguien? Disertación y propuesta de fórmulas para estimar estatura en población mexicana contemporánea [tesis de grado]. Escuela Nacional de Antropología e Historia. México.
- Menéndez Garmendia A, Sánchez-Mejorada G, Gómez-Valdés JA. 2018. Stature estimation formulae for Mexican contemporary population: A sample based study of long bones. *J Forensic Leg Med* 54: 87-90.
- Menezes RG, Kanchan T, Kumar GP, Rao PPJ, Lobo SW, Uysal S, Krishan K, Kalthur SG, Nagesh KR, Shettigar S. 2009. Stature estimation from the length of the sternum in South Indian males: A preliminary study. *J Forensic Leg Med* 16:441–443.
- Menezes RG, Nagesh KR, Monteiro FNP, Kumar GP, Kanchan T, Uysal S, Rao PPJ, Rastogi P, Lobo SW, Kalthur SG. 2011. Estimation of stature from the length of the sternum in South Indian females. *J Forensic Leg Med* 18:242–245.
- Mehta L, Singh HM. 1972. Determination of crown-rump length from fetal long bones: humerus and femur. *Am J Phys Anthropol* 36(2):165-168.
- Mielke J, Konigsberg L, Relethford J. 2011. Human biological variation. Segunda edición. U.S.A: Oxford University press.

- Mohanty NK. 1998. Prediction of height from percutaneous tibial length amongst Oriya population. *Forensic Sci Int* 98:137–141.
- Moore MK, Ross AH. 2013. Stature estimation. In: DiGangi EA, Moore MK, editores. *Research methods in human skeletal biology*. U.S.A: Elsevier Inc. p 151-179.
- Muñoz JI, Liñares-Iglesias M, Suárez-Peñaranda JM, Mayo M, Miguéns X, Rodríguez-Calvo MS, Concheiro L. 2001. Stature estimation from radiographically determined long bone length in a Spanish population sample. *J Forensic Sci* 46:363–366.
- Musgrave JH, Harneja NK. 1978. The estimation of adult stature from metacarpal bone length. *Am J Phys Anthropol* 48:113–119.
- Nath S, Badkur P. 2002. Reconstruction of Stature from Long Bone Lengths. *Anthropol Trends Appl special issue* 1:109–114.
- Nath SYB, Nath S. 2007. Estimation of Stature on the Basis of Measurements of the Lower Limb. *Anthropol Spec* 3:219–222.
- Olivier G, Aaron C, Fully G, Tissier G. 1978. New estimations of stature and cranial capacity in modern man. *J Hum Evol* 7(6): 513-518.
- Ousley SD. 2012. Estimating stature. En: Dirkmaat DC, editor. *A companion to forensic anthropology*. U.K.: Blackwell Publishing Ltd. p 330–334.
- Pearson K. 1899. IV. Mathematical contributions to the theory of evolution. V. On the reconstruction of the stature of prehistoric races. *Philos Trans R Soc London Ser A* 192, 169-244.
- Pelin C, Duyar I, Kayahan EM, Zagyapan R, Agildere AM, Erar A. 2005. Body height estimation based on dimensions of sacral and coccygeal vertebrae. *J Forensic Sci* 50:294–297.
- Petrovečki V, Mayer D, Šlaus M, Strinović D, Škavić J. 2007. Prediction of stature based on radiographic measurements of cadaver long bones: A study of the Croatian population. *J Forensic Sci* 52:547–552.
- Pimental M, Gallardo A. 1996. Nuevas fórmulas para la estimación de la estatura por medio de los huesos metacarpianos. (Aplicación a los entierros del Templo de Quetzalcóatl, Teotihuacán) [tesis de pregrado]. Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- Pininski M, Brits D. 2014. Estimating stature in South African populations using various measures of the sacrum. *Forensic Sci Int* 234: 182.e1–182.e7.
- Pomeroy E, Mushrif-Tripathy V, Wells JCK, Kulkarni B, Kinra S, Stock JT. 2018. Stature estimation equations for South Asian skeletons based on DXA scans of contemporary adults. *Am J Phys Anthropol*:20–31.
- Radoinova D, Tenedekjiev K, Yordanov Y. 2002. Stature estimation from long bone lengths in Bulgarians. *Homo Int Zeitschrift für die vergleichende Forsch am Menschen* 52:221–232.
- Rani Y, Naik SK, Singh AK, Murari A. 2011. Correlation of stature of adult with the length of clavicle. *J indian Acad forensic Med* 33:194–196.
- Raxter M, Ruff C, Auerbach BM. 2006. Revision of the Fully technique for estimating statures. *Am J Phys Anthropol* 130:374-378.
- Relethford J. 1994. *The human species. An introduction to biological anthropology*. Second edition. U.S.A: Mayfield publishing company.
- Rodríguez CJ. 2004. *La antropología forense en la identificación humana*. Colombia: Editora Guadalupe.
- Rodríguez S, Miguéns X, Rodríguez-Calvo MS, Febrero-Bande M, Muñoz-Barús JI. 2013. Estimating adult stature from radiographically determined metatarsal length in a Spanish population. *Forensic Sci Int* 226: 297.e1–297.e4.
- Rodríguez S, González A, Simón A, Rodríguez-Calvo MS, Febrero-Bande M, Cordeiro C, Muñoz-Barús JI. 2014. The use of computerized tomography in determining stature and sex from metatarsal bones. *Leg Med* 16:252–257.
- Rodríguez S, Rodríguez-Calvo MS, González A, Febrero-Bande M, Muñoz-Barús JI. 2016. Estimating height from the

- first and second cervical vertebrae in a Spanish population. *Leg Med* 19:88–92.
- Roller E. 1888/1889. De la mesuration des os longs des membres. Thèses pour le doctorat en médecine, lière series. Universidad de Lyon. Francia.
- Ritchev FJ. 2002. Estadística para las Ciencias Sociales. El potencial de la imaginación estadística. México: McGraw-Hill.
- Sarajlić N, Cihlarz Z, Klonowski EE, Selak I. 2006. Stature estimation for Bosnian male population. *Bosn J Basic Med Sci* 6:62–67.
- Sargin OO, Duyar I, Demircin S. 2012. Estimation of stature from the lengths of ulna and tibia: a cadaveric study based on group-specific regression equations. *Eurasian J Anthropol* 3:1–9.
- Shrestha R, Shrestha PK, Wasti H, Kadel T, Kanchan T, Krishan K. 2015. Craniometric analysis for estimation of stature in Nepalese population-A study on an autopsy sample. *Forensic Sci Int* 248:187.e1-187.e6.
- Simmons T, Jantz RL, Bass WM. 1990. Stature estimation from fragmentary femora: a revision of the Steele method. *J Forensic Sci* 35(3):628–636.
- Singh J, Pathak RK, Chavali KH. 2011. Skeletal height estimation from regression analysis of sternal lengths in a Northwest Indian population of Chandigarh region: A postmortem study. *Forensic Sci Int* 206: 211.e1–211.e8.
- Smith SL. 2007. Stature estimation of 3–10-year-old children from long bone lengths. *J Forensic Sci* 52:538–46.
- Spradley MK, Jantz RL, Robinson A, Peccerelli F. 2008. Demographic change and forensic identification: Problems in metric identification of hispanic skeletons. *J Forensic Sci* 53:21–28.
- Steele DG, McKern TW. 1969. A method for assessment of maximum long bone length and living stature from fragmentary long bones. *Am J Phys Anthropol* 31:215–227.
- Steele DG. 1970. Estimation of stature from fragments of long limb bones. En: Stewart SD, editor. *Personal identification in mass disasters*. U.S.A.: p 85-97.
- Stevenson HP. 1929. On racial differences in stature long bone regression formulae, with special reference to stature reconstruction formulae for the Chinese. *Biometrika* 21:303-321
- Stewart TD. 1979. *Essentials of forensic anthropology*. Especially as developed in the United States. E.U.A: Charles C. Thomas.
- Stulp G, Barrett L. 2016. Evolutionary perspectives on human height variation. *Biol. Rev* 91: 206-234.
- Telkkä A. 1950. On the prediction of human stature from long bones. *Yearb Phys Anthropol* 6: 206-219.
- Telkkä A, Palkama A, Virtama P. 1962. Estimation of stature from radiographs of long bones in children. *Ann Med Exp Biol Fenn* 40:91–96.
- Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Sakuma A, Ishii N, Hayakawa M, Inokuchi G, Motomura A, Chiba F, Hoshioka Y, Iwase H. 2015. Stature estimation in Japanese cadavers based on the second cervical vertebra measured using multidetector computed tomography. *Leg Med* 17:145–149
- Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Sakuma A, Ishii N, Hayakawa M, Yajima D, Inokuchi G, Motomura A, Chiba F, Iwase H. 2015. Stature estimation in Japanese cadavers based on pelvic measurements in three-dimensional multidetector computed tomographic images. *Int J Legal Med* 129:633–639.
- Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Sakuma A, Ishii N, Yajima D, Inokuchi G, Motomura A, Chiba F, Yamaguchi R, Hashimoto M, Hoshioka Y, Iwase H. 2016. Stature estimation from skull measurements using multidetector computed tomographic images: A Japanese forensic sample. *Leg Med* 18:75–80.
- Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Sakuma A, Ishii N, Yajima D, Inokuchi G, Motomura A, Chiba F, Yamaguchi R, Hashimoto M, Hoshioka Y, Iwase H. 2017. Stature estimation in a contemporary Japanese population based on clavicular measurements using multidetector computed tomography. *Forensic Sci Int* 275:316.e1-316.e6.
- Trotter M, Gleser G. 1951. The effect of ageing on stature. *Am J Phys Anthropol* 9 (3): 311-324.
- Trotter M, Gleser G. 1951. Trends in stature of American whites and negroes born between 1840 and 1924. *Am J Phys Anthropol* 9 (4):427-439.

- Trotter M, Gleser G. 1952. Estimation of stature from long bones of American whites and negroes. *Am J Phys Anthropol* 10 (4): 463-514.
- Trotter M, Gleser G. 1958. Re-evaluation of estimation of stature based on measurements of stature taken during life and of long bones after death. *Am J Phys Anthropol* 16:79-124.
- Trotter M, Gleser G. 1977. Corrigenda to "estimation of stature from long limb bones of American Whites and Negroes, *American Journal Physical Anthropology* (1952). *Am. J. Phys. Anthropol* 47: 355-356.
- Wilson RJ, Herrmann NP, Jantz LM. 2010. Evaluation of stature estimation from the database for forensic anthropology. *J Forensic Sci* 55:684-689.
- Wright LE, Vásquez MA. 2003. Estimating the length of incomplete long bones: Forensic standards from Guatemala. *Am J Phys Anthropol* 120:233-251.
- Vercellotti G, Piperata BA, Agnew AM, Wilson WM, Dufour DL, Reina JC, Boano R, Justus HM, Larsen CS, Stout SD, Sciulli PW. 2014. Exploring the multidimensionality of stature variation in the past through comparisons of archaeological and living populations. *Am J Phys Anthropol* 155:229-242.
- Yonguc GN, Kurtulus A, Bayazit O, Adiguzel E, Unal I, Demir S, Acar K. 2015. Estimation of stature and sex from sternal lengths: an autopsy study. *Anat Sci Int* 90:89-96.
- Zakrzewski SR. 2003. Variation in ancient Egyptian stature and body proportions. *Am J Phys Anthropol* 121:219-229.
- Zhang K, Luo YZ, Fan F, Zheng JQ, Yang M, Li T, Pang T, Zhang J, Deng ZH. 2015. Stature estimation from sternum length using computed tomography-volume rendering technique images of western Chinese. *J Forensic Leg Med* 35:40-44.
- Zhang K, Cui J hui, Luo Y zhen, Fan F, Yang M, Li X hai, Zhang W, Deng Z hua. 2016. Estimation of stature and sex from scapular measurements by three-dimensional volume-rendering technique using in Chinese. *Leg Med* 21:58-63.

# 12

## La Odontología en Ciencia Forense: Alcances y Limitaciones en Procesos de Procuración de Justicia

Ivet Gil-Chavarría<sup>1</sup>

Patricia López Olvera<sup>2</sup>

Laura Alicia Espinosa Escobar<sup>3</sup>

Palabras clave: odontología forense, perfil biológico, proceso jurídico.

### RESUMEN

En este capítulo se expone a la odontología forense como parte de un sistema de impartición de justicia y no como contribución independiente. Para ejemplificar la intervención de la odontología, se contextualiza uno de los aportes del área: la construcción del perfil biológico a partir de dientes, el cual está inmerso en las principales etapas de dicho proceso. Con el objetivo de conformar una perspectiva general y reconocer los múltiples factores dependientes del sistema, que intervienen y son determinantes en la resolución de casos. Finalmente se concluye, desde las consideraciones planteadas que, la odontología, la ciencia forense y el mismo sistema legal tienen todavía, aspectos por mejorar y que una de las expectativas es que se articulen eficientemente en un solo mecanismo dentro del quehacer forense.

---

1 Ciencia Forense, Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.

2 Instituto de Investigaciones Jurídicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

3 Ciencia Forense, Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## ABSTRACT

This chapter is about forensic dentistry as part of a justice system, not as individual area. An example of its intervention is “the construction of the biological profile from teeth”, this situation is contextualized in the legal process through of main stages. The objective is to show a general perspective and to recognize that multiple factors can affect the resolution of cases. At the end, the conclusion from some considerations and expectations, is that odontology, forensic science and justice system, still have aspects to improve a really functional legal system.

## INTRODUCCIÓN

La ciencia forense requiere de un enfoque multidisciplinario (Katz Evgeny, 2015), por ejemplo, en Estados Unidos de América, la antropología forense propuso desde hace décadas conformar equipos de trabajo con otras áreas en casos de identificación humana (Dirkmaat, 2008). La odontología forense también debe esforzarse para trabajar en coordinación con otras disciplinas, y en conjunto cumplir reglas generales de aceptación, confiabilidad y relevancia (Wagner, 1997). En ese sentido, este capítulo propone que se entienda a la odontología en la ciencia forense como parte de un mecanismo de integración para la impartición de justicia; y, no como un abordaje individual de la materia.

En nuestro país, esta tendencia implica nuevas formas de intervención, necesidad de colaboración y complementariedad entre las diferentes especialidades que convergen en la misma dirección. Para exponer esa perspectiva, se plantea la participación de la odontología en las diferentes etapas del proceso jurídico mediante una situación hipotética en la que se hace referencia a la construcción del perfil biológico a partir de muestras biológicas (dientes); tarea asociada comúnmente con la antropología física (Davies, 2014; Dirkmaat, 2008). Secuencialmente, se presenta de la siguiente forma:

En un primer apartado se describen aspectos generales para las estimaciones de sexo, edad y ancestría en dientes. A manera de concentrar la información de cada uno de estos métodos, se exponen tablas que concentran trabajos de investigaciones en población mexicana y que pueden ser referentes en protocolos oficiales. En cuanto al orden en el proceso judicial se describen los siguientes aspectos:

- Pertinencia de la solicitud de intervención pericial- El área jurídica necesariamente recurre a la intervención de especialistas, en este caso del perito en odontología, para llevar a cabo el esclarecimiento de hechos o conocimientos específicos de los

indicios. De tal forma, el Ministerio Público, policías, abogados o asesores jurídicos emiten la solicitud de intervención pericial, definiendo el objetivo a resolver. Esto permite cuestionar si los responsables de la elaboración de dicha solicitud conocen de los alcances, tipos de análisis, estimaciones o determinaciones viables de la odontología. ¿Saben que información se puede obtener a partir de dientes y en qué condiciones se pueden hacer estas solicitudes?

- La praxis. - El perito debe dar respuesta específica a la solicitud y generalmente las metodologías están establecidas en protocolos oficiales que estén a disposición. Se lleva a cabo una revisión con respecto a las especificaciones del perfil biológico en los protocolos de la Fiscalía General de la República (FGR), el Instituto de Ciencias Forenses (INCIFO), o la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México (FGJCDMX). A partir de esto, el perito debe estructurar el dictamen, concluir con aspectos concretos que dan respuesta a la petición para finalmente argumentar su opinión técnico-científica en un juicio.
- Fundamentación en juicios orales. - Se señala un punto crítico en la fundamentación científica de la prueba en odontología forense; la cual tiene dos perspectivas, una es la del perito, y otra la expectativa del juez que generalmente espera como referencia al Estándar Daubert.
- La argumentación en juicios orales. - En esta sección se abunda sobre el interrogatorio y contra interrogatorio del perito.
- Finalmente, se concluye sobre la participación de la odontología, inmersa en el sistema jurídico y la necesidad de mejorar en diferentes aspectos. Se reflexiona también sobre la actuación del científico forense como parte de este reto (García-Castillo, 2014).

## LA ODONTOLOGÍA EN LA CIENCIA FORENSE

Aunque se ha advertido que no es un enfoque dirigido únicamente a la odontología forense es importante conocer la definición; una de las más citadas por distintos autores es de Keiser-Nielsen (1968) quien la refiere como: “la rama de la odontología que se ocupa del manejo y examen de la evidencia dental, y de la evaluación y presentación de los hallazgos dentales de interés para la justicia” (Hinchliffe, 2011). No obstante, autores proponen incluir otras especificaciones que describan mejor las diferentes tareas, “si bien es cierto que la misión principal es atender las solicitudes de ayuda en la identificación humana por estudio dental, también se puede incluir: estimación de edad, sexo, análisis de queiloscopía, rugoscopia, huellas de mordida, negligencia y abuso” (Balwant, 2013).

Cabe destacar que independientemente de la cita, la odontología forense fue designada por la International Criminal Police Organization (INTERPOL) como una de las tres fuentes principales para resolver procesos de identificación humana en casos de desastres masivos, teniendo un papel importante en casos conocidos alrededor del mundo. Así mismo, es considerada en la literatura como uno de los métodos científicos más confiables y económicos (Berketa, 2012; Prajapati, 2018).

En la **tabla 1**, se localiza el resumen de los objetivos generales de la odontología en la ciencia forense. Estos objetivos pueden variar de autor a autor, pero generalmente denota que la odontología participa desde diferentes perspectivas. En este texto se hará referencia únicamente a las metodologías para estimar: sexo, edad y ancestría en dientes; cuyos parámetros son requeridos para la construcción del perfil biológico.

**Tabla 1.** Objetivos de la odontología forense

Odontología Forense	Método	Objetivo
	<b>Estudio morfológico, morfométrico y de gabinete</b>	1. Determinar si los indicios biológicos son de origen humano o animal.
		2. Construcción del Perfil Biológico: Estimar sexo, edad biológica, estatura y ancestría.
		3. Registro de tratamientos dentales, reportar la existencia de signos ocupacionales, patologías en los indicios proporcionados: Confrontas
		4. Determinar las características de la huella de mordedura, así como, el mecanismo bajo el cual se produjo la huella de mordedura (externo o autoinfligido) y confronta.
		5. Análisis y registros queiloscópicos.
		6. Análisis y registros rugoscópicos
	<b>Revisión del contenido de: Historia Clínica Registros Radiografías</b>	Determinar la responsabilidad médico-odontológica por: Negligencia Impericia Imprudencia Omisión del deber de cuidado.
		Determinar la clasificación o reclasificación de lesiones dentarias.

Fuente: Martínez Naquid Ana, Ruíz Villavicencio Amalinalli y Vásquez Zapata Yanely, exalumnas de la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la UNAM, trabajo escolar de la asignatura “Juicios orales en materia penal”, semestre 2017-2

## MÉTODOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PERFIL BIOLÓGICO

Los métodos para estimaciones de perfil biológico en estructuras dentales son, en muchos casos, complementarios del dictamen antropológico. En los dientes se encuentran los tejidos de mayor preservación en el cuerpo humano dada su composición química y estructural (Gil-Chavarría, 2018); por dicha razón, existen casos en que los dientes son el único recurso para obtener información de una persona. A continuación, se exponen tres parámetros de estimación a partir del análisis morfológico y/o morfométrico dental: sexo, edad y ancestría. Y se describen brevemente los principales métodos; además, se anexan algunos aportes de trabajos en población mexicana que pueden ser útiles en el campo forense.

### Sexo

La estimación del sexo mediante el análisis métrico dental está dada por el dimorfismo sexual, que se refiere a las diferencias en tamaño y apariencia entre hombres y mujeres con la misma edad (Kieser, 1990). Por lo tanto, las dimensiones de la corona dental proporcionan información significativa para estimar el sexo (Staka, 2016).

Los análisis se llevan a cabo mediante técnicas de medición directa, generalmente con vernier, ya sea en dientes o en modelos de yeso dentales, registrando diferentes diámetros. Los dos diámetros comúnmente usados son: el mesiodistal (MD) y bucolingual (BL), ya sea en la porción coronal o cervical (Acharya, 2008). También se pueden considerar: mesiovestibular (MV) a distolingual (DL) y de mesiolingual (ML) a distovestibular (DV). Resultados de distintas investigaciones concluyen que tanto caninos y molares son los que presentan mayor grado de dimorfismo sexual. (Viciano, 2011; Zorba, 2013; Narang, 2014). Aunque, se ha publicado reiteradamente que el diámetro MD de los caninos maxilares y mandibulares son los de mayor precisión (Washburn, 1974; Filipović, 2013; Pramod, 2014). En la **tabla 2** se resumen algunos de los trabajos reportados en diferentes poblaciones.

### Edad

El segundo parámetro en la construcción del perfil biológico es la edad; los métodos dependerán si se trata de subadultos o adultos. En subadultos históricamente se lleva a cabo mediante la cronología de erupción, en el año de 1941 los autores Schour y Massler propusieron tablas de desarrollo dental basadas en el cambio de dentición primaria o decidua, a secundaria o permanente mediante análisis radiográficos; las cuales, se modifican dependiendo de la población. (Ubelaker, 1978; Hillson, 1996; Burns, 2008; AlQah-tani, 2014). Sin embargo, en adultos representa un proceso más complejo, ya que los fenómenos de envejecimiento varían por diversos factores, según sea la población (Vilcapoma, 2012). Una vez que se ha alcanzado el desarrollo dental completo, las técnicas que más se usan son aquellas basadas en procesos biológicos regresivos (Pulido, 2017), se hace referencia a los siguientes:

i). Desgaste fisiológico: propuesto por Gustafson en 1947, con margen de error de  $\pm 2.3$  años (Gustafson, 1950).

ii). Transparencia radicular: propuesto por Bang y Ramm en 1970. Después Lamendin publica en 1988 una investigación en donde el margen de error en hombres fue de  $10.1 \pm 1.1$  años y para las mujeres de  $9.4 \pm 1.4$  años. El mismo autor y colaboradores en 1992 verificaron el método en una muestra de control forense de 24 casos con 45 dientes de 20 hombres y 4 mujeres, obtuvieron como resultado un error promedio de  $8.4 \pm$  años. Para el 2002, Prince y Ubelaker llevaron a cabo este método en dientes unirradiculares en población francesa y no francesa, concluyeron que ésta última presenta un error medio de 8.2 años y una desviación estándar de 6.9 años. (Lamendin, 1988; Prince, 2002, Díaz Leite, 2018).

iii). Odontogénesis: Nolla en 1960 describió las etapas de formación de coronas y raíces de todos los dientes permanentes superiores e inferiores (Nolla, 1960). Demirjian en 1973 propuso un método que también se basa en estadios de mineralización, es confiable en menores de 20 años. (Demirjian, 1973). El método de Cameriere (2007) estudió las dimensiones de la cámara pulpar y reportó un error estándar residual de 5.4 años (Cameriere, 2007).

iv). Análisis de carbono 14. Este método mide la concentración de C14 en tejidos dentales (esmalte principalmente), correlacionando el pico de la bomba después de 1945 y el decaí-



**Tabla 2.** Estudios de dimorfismo sexual en estructuras dentales de población mexicana

Año/Autor	Título	Método	Muestra	Resultado	Aportaciones
2008.	Dimensiones coronales mesiodistales en la dentición permanente de mexicanos	M-D Coronal	99 modelos de yeso de jóvenes entre 12.09 - 1710 años originarios de la ciudad de Toluca, Estado de México. Medición de todos los dientes	El ancho MID de los dientes en hombres, era consistentemente mayor que en mujeres. Principalmente canino inferior, primer molar inferior, canino superior y segundo molar inferior	Se realizaron dos mediciones para calcular el error intraexaminador dado por la diferencia entre la primera y segunda medición mesio-distal de un mismo diente, los valores de ambas mediciones se promediaron
Toshio K. I., et al	Artículo	M-D Coronal	12.09 - 1710 años originarios de la ciudad de Toluca, Estado de México. Medición de todos los dientes	El dimorfismo sexual (reflejo) en los dientes, siendo los principales indicadores los caninos.	En lo que respecta a las funciones discriminantes, el autor refiere que son el primer acercamiento a la determinación del sexo a través de las mediciones dentales en el estado de Yucatán y en México
2009. Barceló G.	Análisis discriminante del dimorfismo sexual en dientes permanentes de la población contemporánea de Izamal, Yucatán	M-D Coronal B-L Coronal	173 modelos de yeso de estudiantes de entre 11-16 años provenientes de la ciudad de Izamal, Yucatán. Medición de todos los dientes	Los dientes que menos dimorfismo sexual mostraron fueron los incisivos y los premolares.	La mayoría de los dientes son de mayor tamaño en el sexo masculino, siendo los caninos superiores e inferiores los de mayor dimorfismo sexual.
2016. García Morales A.A.	Tesis ENAH/ Maestría	B-L Coronal	Medición de todos los dientes excepto terceros molares 106 individuos: de Colecciones óseas: Sr. Gregorio Atlapulco Xcaret/Chac-Mool, Hospital Real Sn. José de los Naturales. Modelos de yeso: Estudiantes de la ENAH. Clínica "rehabilitación y cosmética dental. Ortopedia y Ortodoncia" de Querétaro	No se pudo verificar dimorfismo sexual a través de definición discriminante; pero si se cuantificó la tendencia de la población para mostrar diferencias entre sexos.	Los resultados de las mediciones sugieren que el tamaño dental es más variable entre sexos que entre grupos.
Tesis ENAH/ Maestría	Determinación de sexo a través de rasgos odontométricos en una muestra esqueletal contemporánea de adultos de Zimapan, Hidalgo.	Muesra	esqueletal contemporánea comprendida por 187 individuos de entre 22 - 90 años procedente del municipio de Zimapan, Hidalgo	Los dientes con mayor porcentaje de dimorfismo sexual: segundo molar superior e inferior derechos.	Con el fin de asegurar y controlar los datos de los dientes. En incisivos y caninos se midieron los diámetros: MD y BL En premolares: MD Vestibulo-Lingual
2018 Márquez, T.A.	Tesis ENAH / Licenciatura	Meso-Distal Buco-Lingual Vestibulo-Lingual Mesiolingual-Distobucal Mesio Bucal-Distolingual	Medición de incisivos, caninos, premolares, primeros y segundos molares	Los dientes con menor porcentaje de dimorfismo sexual: incisivos y los premolares.	En los molares: MD Vestibulo-Lingual Mesiolingual-Distobucal Mesio Bucal-Distolingual

Fuente: David Stefano Huitrón Morales. Facultad de Odontología UNAM y Laboratorio de Antropología y

Tabla 3. Estudios de estimación de edad en dientes de población mexicana

Año/Autor	Título	Método	Muestra	Resultado	Aportaciones
2008 Regalado R. Artículo	Estimación de la edad con base en la medición de la transparencia de la dentina radicular en dientes permanentes,	Bang y Ramm	Ciudad de México. 18 sujetos de ambos sexos de entre 23 y 85 años	Margen de error máximo 13.5 años Error de estimación mínimo 0.4 años	Sugiere una muestra mayor.
2016 Regalado R. Artículo	Transparencia radicular y estimación de la edad en una población esquelética proveniente de un cementerio contemporáneo del Estado de Hidalgo.	Bang y Ramm	Caltimacán, Hidalgo. 43 restos de edad y sexo conocido.	Coefficiente de correlación entre la edad conocida y la edad estimada tiene un índice de 0.75 y una diferencia entre la edad real y estimada de -3.06 años.	Considera que las condiciones de salud-enfermedad bucal no tuvieron influencia en los cambios en el tejido analizado en este estudio.
2010 Pacheco S. Tesis. Doctoral	Estimación de la edad dental en pacientes entre los 4 y 21 años de edad en una población de la Ciudad de Chihuahua, México.	Demirjian	Chihuahua, México. La muestra se dividió en dos fases. F1: 433 de 4 a 12 años. F2: 1000 de 12 a 21 años.	Determinaron que la técnica de Demirjian es variable con respecto al grupo de infantes que se evaluó.	La calificación en niños de Chihuahua es más tardía que en franco-canadienses.
2016 Pizano D. et al. Artículo	Estimación de la edad de acuerdo al método de Demirjian en niños de 4 a 16 años de la Ciudad de Puebla, México.	Demirjian	Puebla, México Muestra 1125 radiografías, entre 4 y 16 años, 657 mujeres y 468 hombres.	Sobreestimación de 0.97 años en los grupos de 4-5.99 años a 10-11.99 años. Subestimación de -1.02 años en el grupo de 16-16.99 años en el sexo femenino.	Sugiere la modificación de la técnica de Demirjian en población mexicana.
2017 Pulido J. Artículo	Análisis comparativo de la técnica de Lamendin y la técnica de González-Colmenares para estimación de edad en adultos.	Lamendin	Guadalajara, México. Se realizó la comparación con el método de González-Colmenares en 50 cadáveres, 16 mujeres y 34 hombres, la edad promedio fue de 40.9 años.	En el sexo masculino la sobreestimación fue en el grupo de 11-11.99 años resultó de 114 años. La subestimación fue en el grupo de 16-16.99	Se adaptó una fórmula aplicada a población colombiana al tipo de muestra.
2018 Hernández I. Tesis EQ. Licenciatura	Estimativa de edad dental con la técnica Lamendin en población mexicana con fines de investigación forense.	Lamendin	Ciudad de México. Muestra 16 cadáveres, 22 órganos dentarios de 25 a 50 años. 21 dientes del sexo masculino y 1 de sexo femenino.	La prueba de González Colmenares ofrece un margen de error menor, pero con mayor frecuencia. Lamendin tiene un margen de error mayor, pero en un número muy reducido de veces.	Al hacer la comparación de la estimación realizada con la técnica de Lamendin y la utilizada por el Ministerio Público, la primera mostró una estimación más acertada. Sugiere usar más de una técnica al momento de estimar edad.

<p><b>2017</b> <b>Benítez A.</b> <b>Tesis ENAH</b> <b>Licenciatura</b></p>	<p>Ecuaciones de regresión para la estimación de la edad en dientes caninos de población adulta mexicana contemporánea.</p>	<p>Cameriere</p>	<p>Ciudad de México. 336 personas vivas (176 mujeres y 160 hombres) Colección Osteológica (COL-10) - UNAM25) 230 esqueletos (110 Mujeres y 120 hombres) de 28 y 85 años. Muestra total: - 353 individuos adultos 18 a 54 años (171 individuos masculinos y 182 sexo femenino)</p>	<p>Tres ecuaciones de regresión cúbica para población mexicana contemporánea que mostraron evaluaciones más precisas de la edad con respecto a las ecuaciones originales propuestas por Cameriere.</p>	<p>Ecuaciones adaptadas para población mexicana.</p>
<p><b>2018</b> <b>Díaz Leite V.</b> <b>Tesis ENAH</b> <b>Licenciatura.</b></p>	<p>Comparación de la edad cronológica real y estimada por el método de Cameriere a partir de una muestra de caninos maxilares femeninos.</p>	<p>Cameriere</p>	<p>Ciudad de México, México. Clínica estomatológica San Lorenzo de la Universidad Autónoma Metropolitana. Muestra inicial: 434 ortopantomografías que oscila entre 19 y 36 años. Muestra después de 1er filtro: 243 ortopantomografías 18 a 36 años con los caninos superiores presentes.</p>	<p>Obtención de una nueva fórmula para el sexo femenino a partir de la regresión lineal simple, con un error de estimación de 1.79 para el canino izquierdo y 1.72 para el derecho, no mayor a + 2.5 años.</p>	<p>Formulas específicas para caninos en población femenina.  Diseño un estimador de edad cronológico sencillo en Microsoft Excel 2007, dicho programa se puede utilizar en PC, tableta y teléfono móvil, especialmente para el tipo de muestra de este estudio.</p>
<p><b>2016</b> <b>Meza Solís, E.</b> <b>Tesis</b> <b>Licenciatura</b> <b>Facultad</b> <b>de Ciencias</b> <b>UNAM</b></p>	<p>Fecha de piezas dentales modernas con Carbono-14 por espectrometría de masas con aceleradores.</p>	<p>Análisis de Carbono 14. Se probaron tres métodos para compensar el tiempo de retraso en la incorporación del carbono.</p>	<p>Dientes de donadores que nacieron después de 1945 de la Cd. México y Morelos.</p>	<p>Los resultados mostraron una aproximación similar para el año de nacimiento en los tres métodos; por lo que no hay preferencia entre ellos. En el 88 % de las muestras analizadas la incertidumbre promedio es de 1.69 años.</p>	<p>La calibración del método mediante Calibomb, para el análisis de muestras dentales en México (Lab. Espectrometría de Masas con acelerador UNAM).</p>
<p><b>2018</b> <b>Morales Guillén M.E.</b> <b>Tesis Licenciatura</b> <b>Facultad</b> <b>de Química</b> <b>UNA;</b></p>	<p>Determinación de 14C presente en esmalte y dentina de muestras dentales modernas por espectrometría de masas con aceleradores.</p>	<p>Análisis de Carbono 14. Determinar el rendimiento de dos tejidos: esmalte (carbono) y dentina (colágena).</p>	<p>Dientes de donadores que nacieron entre 1935 y 2002 en México; las piezas fueron extraídas entre 2014, 2015 y 2016.</p>	<p>Los valores obtenidos fueron concordantes con el año real de nacimiento. Fue posible determinar si el año en que terminó de formarse el diente (esmalte o dentina) corresponde al lado ascendente o descendente de la curva denominada como "pico de la Bomba".</p>	<p>Se determinó el rendimiento en cada tejido y se reporta que en las muestras de colágeno el error promedio absoluto es de 1.34 años; mientras que en las muestras de esmalte 0.57 años.</p>

Fuente: Elaboración propia

miento; gradual anual lo que permite estimar el año de nacimiento de un individuo. Aunque es un método destructivo, se ha reportado que tiene una precisión de  $1.5 \pm$  años (Spalding, 2005; Hodgins, 2009; Ubelaker, 2011). En la **tabla 3** se mencionan investigaciones en población mexicana.

## Ancestría

Ancestría se define como un componente biológico de variación poblacional, se estima mediante el análisis de características morfológicas; y comprende una acumulación compleja de variación genética modulada por procesos de microevolución y presiones ambientales (Konigsberg, 2009). Los rasgos morfológicos conocidos también como cualitativos, discontinuos, no-métricos o epigenéticos (Cucina, 2011) son un instrumento para la estimación de ancestría, debido a que hay caracteres dentales que varían entre poblaciones y dentro de ellas (Dahlberg, 1971; Scott, 1997). Entonces, la morfología coronal y radicular determinadas genéticamente permiten que funcionen como marcadores de los grupos humanos mediante el análisis comparativo y estadístico (Greenberg et al., 1986; Rodríguez, 2004; Scott y Turner, 1988).

Entre los métodos para el estudio de estos caracteres destacan: Hrdlicka (1920), Dahlberg (1971/1973), Mikkelsen y Dahlberg (1947), Devoto (1973), Snyder (1960) Goaz y Millar (1966), De Jonge-Cohen (1926), Rodríguez (1999) Kraus (1999/1951), Korenhof (1960), Selenka (1898) y el Arizona State University Dental Anthropology System (ASUDAS) (1991). Éste último, ASUDAS es el más utilizado, el cual está conformado por placas de referencia donde se describe cada rasgo y su propio nivel o grado de expresión (George, 2015). Se han realizado estudios en población mexicana desde la perspectiva antropológica y algunos otros en investigación forense, éstos se resumen en la **tabla 4**.

## INTERVENCIÓN DE ODONTOLOGÍA EN LA CIENCIA FORENSE

A continuación, se plantea la siguiente situación hipotética:

Se encuentran dos indicios “X” y “Z” categorizados como biológicos, que por sus características y apariencia son “presumiblemente” dientes. Por considerarse restos biológicos, se

notifica a las autoridades correspondientes para el levantamiento, investigación y análisis que ayuden a resolver, si efectivamente son dientes, si son de humanos y se obtenga información para identificación; todo en una carpeta de investigación-.

Esto, con la finalidad de vislumbrar “otros” aspectos y reconocer la relevancia en el sistema jurídico. Por lo anterior, se describe la secuencia de lo que hipotéticamente ocurriría con esos indicios y la continuidad en las principales etapas legales.

## SOLICITUD DE INTERVENCIÓN

En materia penal, durante la investigación de un hecho, probablemente constitutivo de delito, el Agente del Ministerio Público requiere responder las preguntas: ¿cómo se encontraron los indicios biológicos?, ¿cuándo?, ¿dónde? y ¿por qué? Si se sigue la línea del planteamiento hipotético, las preguntas a resolver serían: ¿los indicios biológicos “X” y “Z” recabados del lugar de investigación corresponden a dientes? En caso de resolver que son dientes; entonces, evaluar si: ¿“X” y “Z” son de humano o animal?; ¿si los indicios “X” y “Z” se determinan humanos estos corresponden a una persona del sexo masculino o femenino? y ¿cuál es la edad aproximada de los indicios “X” y “Z”? Para responder cada una de estas preguntas, el Ministerio Público requiere el apoyo del odontólogo forense, quien una vez que reciba la solicitud de intervención pericial, analizará los indicios o elementos materiales probatorios que serán puestos a su disposición.

Actualmente, las solicitudes de intervención pericial en materia penal no son exclusivas del Agente del Ministerio Público, tanto los policías (en su carácter de primer respondiente o el policía con capacidades para procesar), abogados defensores y/o asesores jurídicos de las víctimas (parte ofendida) pueden solicitar la práctica de peritajes públicos o particulares, según sea el caso. Sin embargo, el Ministerio Público y policías, dado que son los primeros en acceder al lugar de intervención, adquieren la obligación de protegerlo y preservarlo. Y, además, tienen la facultad de disponer inmediatamente de peritos públicos en las fiscalías generales de justicia para realizar las diligencias necesarias que les permitan esclarecer los hechos. Esto último, de acuerdo con el Código Nacional de Procedimientos Penales (2016), el cual en su artículo 127, estipula que es competencia del Ministerio

Público conducir la investigación y coordinar a los policías y a los servicios periciales. Por otra parte, en el artículo 272 de la misma ley se expresa, que, durante la investigación, el Ministerio Público o la policía con conocimiento de éste, podrá disponer la práctica de los peritajes que sean necesarios para la investigación del hecho. Difícilmente se proporciona autorización para solicitar la intervención de peritos particulares, a menos que sean casos mediáticos, de relevancia nacional o que las fiscalías no cuenten con el especialista necesario.

Por el contrario, los abogados defensores y los asesores jurídicos conocen el caso posteriormente, lo que les permite analizar el trabajo realizado por los peritos públicos y, en caso de no estar de acuerdo con sus conclusiones pueden solicitar nuevos peritajes elaborados por otro perito público o bien un particular. De la misma manera, si consideran que la elaboración de un peritaje era necesario, pero no fue solicitado por el Ministerio Público o la policía, podrían solicitar su elaboración. A nivel nacional no existe un formato de solicitud de intervención pericial homologado, sin embargo, en la literatura se señala que debe contener por lo menos los siguientes requisitos formales:

- Fecha de recepción.
- Hora de recepción.
- Carpeta de investigación.
- Unidad Investigadora.
- Coordinación Territorial.
- Folio.
- Detenido: Sí/No.
- Fundamento Jurídico de la Intervención.
- Especialidad (área forense).
- Estudio solicitado (objetivo).
- Ubicación (donde se encuentra el material de análisis).
- Observaciones.
- Nombre, firma y cargo de quien realiza la solicitud.

En dicha solicitud, los verbos utilizados, normalmente, son “determinar” o “identificar”; sin embargo, el verbo “estimar” en este caso es adecuado para los parámetros del perfil biológico. Por ejemplo, si el Ministerio Público requiere la intervención de la odontología forense para analizar los indicios “X” y “Z” de los cuales se ha concluido que: - “Sí son dientes humanos”.- Entonces, se solicita un análisis para estimar el sexo y edad biológica aproximada. La estimación de ancestría no es comúnmente solicitada, ni siquiera cuando se trata de indicios óseos, a

pesar de que es un área de conocimiento de la antropología (Berg, 2015). En la resolución de casos, pueden intervenir distintas áreas s forenses, vinculándose los objetivos.

Por otra parte, una misma solicitud de intervención puede contener varios objetivos, siempre y cuando, estén relacionados. Por ejemplo, si en el caso hipotético planteado se hubiera determinado que -Los indicios “X” y “Z” si son dientes, pero son de origen animal-, entonces el segundo objetivo ya no tiene sentido puesto que se solicitaba la estimación de sexo y edad biológica de un ser humano, y así tener elementos para una posible identificación.

Algunos otros de los problemas frecuentes, que suelen ocurrir, al momento de elaborar las solicitudes de intervención son:

- Se desconocen los objetivos de la odontología forense y no se indica el objetivo específico que se requiere de acuerdo con el material de análisis con el que se cuenta. Respecto a las técnicas para estimación del perfil biológico, hace falta la integración y actualización de los métodos más aproximados para población mexicana, lo cual sería un recurso muy útil para identificación humana.
- Se realizan inferencias sin tener soporte científico. Por ejemplo, si se hubiera indicado la “determinación” del sexo y edad biológica, sin haber solicitado previamente que se determinara si es de origen animal o humano.
- A efecto de evitar cualquier posible reclamo sobre la carencia de peritajes practicados, el Ministerio Público realiza solicitudes para que se practiquen una diversidad de peritajes que no siempre son atinentes en el caso concreto; ya sea porque el material a analizar no es el idóneo para determinar el objetivo en específico o, aunque si lo fuera, no tiene que ver con un hecho que se deba esclarecer en el caso concreto.

## “PRAXIS” DE LA ODONTOLOGÍA FORENSE

Posterior a la recepción de la solicitud de intervención, el perito debe dar seguimiento mediante el análisis y respuesta a los objetivos que se definieron. El perito en odontología que labore dentro de una institución de servicio público debe atender las solicitudes de intervención que

Tabla 4. Estudios de estimación de ancestral en dientes de población mexicana

Año/ Autor	Título	Método	Muestra	Resultado	Aportaciones
2007 Flores S. Tesis ENAH Licencia-tura	Morfología dental y mestizaje en una población contemporánea de Zimapan, Hidalgo. Rasgos morfológicos dentales.	ASUDAS	Muestra: 74 individuos vivos de Zimapan Hidalgo. Se realizó un análisis comparativo poblacional de frecuencias con muestras prehispánicas europeas y africanas	La frecuencia dicotómica del diente en pala en población mestiza de Zimapan representa un 34.9% dato que no es alejado del observado en Cholula, Monte Albán Tlatilco y Cuicuilco con un 51.5%	Los datos que resultan de los rasgos dentales no-métricos, son herramientas aplicables para poder caracterizar grupos humanos, evaluando afinidad biológica y dinámica poblacional.
2007 Stanley S. Artículo	Investigación Bio-arqueológica de la Estructura de la Antigua Población de Mayapán	ASUDAS	Mexicana de entierros pertenecientes a Mayapán. Se dividió la muestra en tres diferentes estratos sociales.	Los valores obtenidos identificaron importantes diferencias entre muestras, apoyando la hipótesis del estudio de que en la sociedad de Mayapán existieron grupos genéticamente diferentes.  Los resultados expresados anteriormente sugieren que las diferencias de status correspondían con las diferencias genéticas en Mayapán.	Utiliza el esquema de dicotomización específico de Mayapán.
2012 Pimentel M. Artículo	Afinidad biológica a través de la morfología dental de dos muestras de la Península de Yucatán, México.	ASUDAS Modificado	Xpujil, Campeche y Ciudad de Mérida, Yucatán	Evalúa el mestizaje en dos comunidades. Se reportó un menor grado de mestizaje en la población de Mérida, acercándose más a las poblaciones europeas.	Aplicación de las modificaciones del sistema ASUDAS por Gallardo (2011)  La muestra mexicana fue comparada con: africanos, subsaharianos, africanos del norte, europeos continentales,  poblaciones sundaes, poblaciones sinodontes y poblaciones españolas granadinas.
2013 Cucina A. Capítulo	Variabilidad biológica en el área maya durante el clásico y posclásico a partir de la morfología dental.	ASUDAS	24 colecciones con muestras de Guatemala, Belice, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas.  Registra 79 rasgos morfológicos con base en el sistema de placas de referencia ASUDAS	El análisis de la variabilidad morfológica interna a cada colección permitió observar la compleja dinámica poblacional de interacción político-económica y comercial de la región. Los grupos no manifestaron afinidad entre ellos, esto fungen como indicador de la heterogeneidad relacionada a procesos exo, endogámicos o inmigraciones.	Los rasgos morfológicos dentales (con algunas excepciones) no son rasgos mendelianos a herencia simple, más bien se expresan de acuerdo con una escala continua desde ausente hasta la expresión máxima del mismo rasgo.  La elección de los rasgos a analizar y los niveles dicotómicos aplicados pueden producir resultados diferentes.

<p><b>2013</b> <b>Hilne- meier T.</b> <b>Artículo</b></p>	<p>Frecuencias de un alelo del gen EDAR en totonacos de la sierra Norte de Puebla y mestizos de la ciudad de México.</p>	<p>Análisis de Gen EDAR Sistema ASUDAS</p>	<p>Muestra de 91 individuos vivos Totonacos de la sierra Norte de Puebla y mestizos de la ciudad de México. Se obtuvo la secuencia Gen EDAR número de referencia rs3827760. Evaluación del diente en pala con el sistema ASUDAS</p>	<p>El alelo derivado 1540C (rs3827760) muestra una alta frecuencia en la población totonaca de Tepango de Rodríguez, Puebla (.8791). Por otro lado, la presencia del gen no es garantía de la expresión fenotípica.</p>	<p>En la población indígena el alelo derivado 1540C es altamente frecuente a lo largo de toda la distribución del rasgo morfológico, siendo su distribución modal el grado 3 de diente en pala. Esto puede ser compatible con un modelo de herencia aditiva, considerando que en las dos poblaciones el genotipo homocigoto para el alelo derivado 1540C presenta en promedio un grado más marcado de diente en forma de pala, siendo este valor promedio de 3.73 en el caso de los totonacos de Tepango y de 2.90 en los mestizos de la ciudad de México.</p>
<p><b>2015</b> <b>George R.</b> <b>Tesis</b> <b>Maestría</b> <b>California</b></p>	<p>Non-metric and metric dental assessment of ancestry in contemporary Mexican individuals: an aid to identifying undocumented border crossers</p>	<p>ASUDAS</p>	<p>Muestra de individuos contemporáneos, de las colecciones de la Universidad de Nuevo México que incluye "Hispanoamericanos" y la colección del Instituto de Investigaciones Antropológicas UNAM. Utilizan 28 rasgos del método ASUDAS</p>	<p>Los rasgos dentales no métricos, presentan características que pueden ser reconocibles basados en muestras conocidas. Aplicando la prueba de error Cohen Kappa, se demostró que de los 28 rasgos estudiados 19 son legibles para la inclusión en el estudio. Se reportó que la prevalencia de rasgos difiere significativamente entre los mexicanos y muestras hispanas del suroeste, así como entre el sudoeste hispano.</p>	<p>Los resultados demuestran que el término hispano como un término clasificatorio no explica la cantidad de variación observada entre los grupos en este estudio y cuestiona la validez de este término para describir poblaciones de México, América Central y América Latina. Se muestra la viabilidad y la reproducibilidad del método, para identificación forense. El estudio de error interobservadores para futuras investigaciones. Se propone des-generalizar el grupo de hispanos, diferenciando cada grupo, México como principal eje en el estudio.</p>
<p><b>2016</b> <b>Cucina A.</b></p>	<p>Oaxaca and its neighbors in Prehispanic times: Population movements from the perspective of dental morphological traits</p>	<p>ASUDAS</p>	<p>Tres colecciones humanas prehispánicas del estado actual de Oaxaca, México, Monte Albán, Zaachila y Cerro Guacamaya, estudiando las afinidades biológicas evaluadas a través de la morfología dental entre</p>	<p>Cholula y Teotihuacán están separados de las muestras de Oaxaca, en el sentido de dinámica poblacional tal vez indicando que las interacciones de la población eran poco comunes entre estas dos regiones en el período de tiempo estudiado.</p>	<p>Se observa afinidad entre Monte Albán y su muestra coetánea de la región Franca Maya y Mixe-Zoque. Los sitios en el altiplano y el Golfo de México muestran relaciones menos estables en el tiempo. Sin embargo, Cholula y Teotihuacán son más consistentemente separadas de las muestras de Oaxaca.</p>

Fuente: María Sadihi García Notasco, Facultad de Odontología UNAM y Laboratorio de Antropología y Odontología Forense, Ciencia Forense de Facultad de Medicina UNAM

le sean asignadas y dar contestación, a aquello que le sea cuestionado. En caso de que tenga alguna aportación que considere importante, debe manifestarlo en el apartado de resultados, ya que el omitir información puede ser perjudicial. Retomando el ejemplo, *-Si el Ministerio Público envía los indicios “X” y “Z” para que se determine si son dientes y si es el caso determinar también si son de humano o animal-*, el perito haría los análisis correspondientes para determinarlo y en conclusiones especificaría que es un diente de humano y nada más, ya que eso únicamente es lo que le fue solicitado. Una vez que ha terminado su estudio, el indicio se vuelve a embalar de acuerdo con la Guía Nacional de Cadena de Custodia (2015) y se remite junto con la cadena de custodia, después de esto, es poco probable que se vuelva a tener acceso al indicio. Si la información emitida en el dictamen no es de relevancia para el caso, el Ministerio Público puede solicitar una ampliación de dictamen con otro planteamiento; por ejemplo, referente al perfil biológico, parámetros que se pudieron haber estimado desde un inicio incluyéndolos en el apartado de resultados, aunque estos no figuren en la conclusión, eso facilita una intervención futura para el mismo perito y se agilizaría la resolución del caso.

Respecto a la obligación del perito de abundar en el análisis durante el peritaje, jurídicamente se especifica en la Ley Orgánica de la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México (FGJCDMX, 2019) en el artículo 36, fracción VII que el Ministerio Público está facultado para solicitar actos de investigación conforme al principio de libertad probatoria, así como, que las investigaciones se deben desarrollar de manera completa y exhaustiva. Lo anterior implica que los peritos que formen parte de la Coordinación General de Investigación Forense y Servicios Periciales de la FGJCDMX, como sujetos auxiliares del órgano del Ministerio Público, tienen la obligación de emitir los informes o dictámenes correspondientes en los términos señalados, es decir, completos y exhaustivos. Además de lo anterior, según el art. 59 de la misma ley referida, los peritos están obligados a realizar los peritajes con autonomía técnica e independencia de criterio.

El perito en odontología debe llevar a cabo los análisis mediante un desarrollo metodológico establecido en protocolos oficiales, estos métodos deben cumplir con la reproducibilidad y repetitividad siempre y cuando el diente no sea

destruido. En los casos en que la muestra deba ser consumida en su totalidad al practicar el análisis, el Código Nacional de Procedimientos Penales (2014) prevé lo siguiente:

*Artículo 274. Peritaje irreproducible. Cuando se realice un peritaje sobre objetos que se consuman al ser analizados, no se permitirá que se verifique el primer análisis sino sobre la cantidad estrictamente necesaria para ello, a no ser que su existencia sea escasa y los peritos no puedan emitir su opinión sin consumirla por completo. Éste último supuesto o cualquier otro semejante que impida que con posterioridad se practique un peritaje independiente, deberá ser notificado por el Ministerio Público al Defensor del imputado, si éste ya se hubiere designado o al Defensor público, para que si lo estima necesario, los peritos de ambas partes, y de manera conjunta practiquen el examen, o bien, para que el perito de la defensa acuda a presenciar la realización de peritaje... (Código Nacional de Procedimientos Penales, 2014)*

Ahora bien, si se sigue en la supuesta conclusión de que: *-Los indicios “X” y “Z” eran dientes humanos-*, se hace referencia a lo que corresponde a la estimación del perfil biológico y se cita lo establecido en los protocolos de la Fiscalía General de la República (FGR), la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México (FGJ CDMX) y el Instituto de Ciencias Forenses (INCIFO), respecto:

### Fiscalía General de la República

En el año 2015, la anteriormente llamada “Procuraduría General de la República” (ahora Fiscalía General de la República) dio a conocer el *Protocolo para el tratamiento e identificación forense*, en el apartado referente al perfil biológico sólo se especifica la estimación de edad e indican que ha de realizarse con metodología científica, aplicada al desarrollo y transparencia radicular y señala entre paréntesis con el método de Lamendin. Se resalta, no hay indicaciones si debe ser basado en el estudio de 1988 o 1992; además, deja de lado las aportaciones que hicieron Bang y Ramm en 1970 y Prince-Ubelaker en 2002, entre otros. Es importante subrayar la existencia de otros métodos para estimar edad (ver [tabla 3](#)), no solo basados en el desarrollo radicular; aunque, esto pudiese generar discrepancias si, dos o más peritos aplican diferentes métodos según su consideración o experiencia. Por otra parte, tam-



bién en el año 2015, se publicó el *Protocolo de investigación ministerial, policial y pericial con perspectiva de género para el delito de feminicidio*, documento que menciona a la antropología forense como la especialidad pericial, y simplemente se menciona que la o el odontólogo deberá ser integrante de su equipo, sin especificar sus objetivos ni metodología a seguir.

### Instituto de Ciencias Forenses

En el manual de procedimientos del Servicio Médico Forense<sup>3</sup>, del Tribunal Superior de Justicia del Distrito Federal (2011), se mencionan los actos a seguir en los casos de identificación de cadáveres. El objetivo principal por parte de la odontología forense es el registro de hallazgos localizados en la cavidad oral con fines de obtener elementos para contrastar la información, en caso de obtener registros dentales *antemortem*. Dichos hallazgos, explica el manual, se capturan y se archivan de acuerdo con el sexo y edad, pero no se indica qué métodos odontológicos deben aplicarse para establecer estos aspectos del perfil biológico.

### Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México

Por parte de la FGJ CDMX no se encuentra acceso público a algún protocolo de actuación relacionado con el establecimiento del perfil biológico, pero es importante señalar que en la página web<sup>4</sup> de dicha institución se indican las especialidades que existen dentro de los servicios periciales, una de ellas es, la odontología forense, en donde la definen como la “especialidad que se encarga de realizar fichas de identoestomatogramas con fines de identificación de cadáveres”. Al tener esa información las autoridades jurídicas como el Ministerio Público, es probable solicite la intervención de un odontólogo forense sólo para realizar la ficha antes mencionada.

Con lo anterior, se evidencia la no homologación y la no actualización de protocolos a nivel nacional, lo cual sesga las dictaminaciones, aumenta el error y dificulta la valoración de pruebas en juicios orales. Tampoco se consideran como material de apoyo en la praxis,

las contribuciones de investigaciones generadas por la academia, esto refiriendo específicamente al perfil biológico, a pesar de que su utilización puede aportar tanto en la ejecución del peritaje en odontología, dictaminación y argumentación.

## FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA DE LA PRUEBA EN ODONTOLOGÍA FORENSE: SOBRE EL ESTÁNDAR DAUBERT

Todas las pruebas científicas que se ofrezcan para ser desahogadas ante el tribunal deben gozar de validación o fundamentación científica. No ha sido fácil para los operadores jurídicos determinar cuándo una prueba efectivamente satisface dicho criterio. Uno de los primeros esfuerzos en este sentido es el estándar Daubert, establecido por las cortes estadounidenses como criterio para decidir sobre la admisibilidad de pruebas científicas y se fundamenta en el Federal Rules of Evidence (1973), regla 702.

*En el caso Daubert, el tribunal acusó a los jueces de responsabilidad de actuar como guardianes para excluir el testimonio de expertos no confiables, estableció una lista de verificación en la evaluación de la fiabilidad del testimonio de expertos científicos (peritos). Los factores específicos explicados por el Tribunal para determinar la fiabilidad del trabajo realizado por el perito son (1) si la técnica o teoría del experto ha sido probada, es decir, si la teoría del experto puede ser desafiada en algún sentido objetivo, o si es en cambio simplemente subjetivo, conclusivo enfoque que no se puede evaluar razonablemente para la confiabilidad; (2) si la técnica o teoría ha estado sujeto a revisión por pares y publicación; (3) si la técnica tiene “una conocida o posible tasa de errores”; y (4) si existe una “aceptación general” de la técnica científica (The Federal Rules of Evidence, 1973).*

Dicho estándar, también ha sido referido en el derecho mexicano, aparece como tesis aislada publicada el 3 de junio de 2016 en el Semanario Judicial de la Federación. Los jueces esperan que cualquier metodología o técnica que se utilice para la elaboración de un dictamen pe-

3 Actualmente, el Servicio Médico Forense de la Ciudad de México, lleva como nombre Instituto de Ciencias Forenses, no obstante, el manual de procedimientos no ha tenido actualización de forma pública.

4 Sitio web de la PGJ CDMX: <https://www.pgj.cdmx.gob.mx/micrositios/servicios-periciales>

ricial debe satisfacer los criterios de Daubert, por ejemplo, en el caso de odontología forense sería:

- Si la técnica o teoría utilizada por el perito ha sido probada.
- Si la técnica o teoría utilizada ha estado sujeta a revisión por pares y publicación, es decir, si cuenta con alguna validación (replicación) realizada por grupos de expertos.
- Si la técnica utilizada por el perito en odontología forense tiene una conocida o posible tasa de errores.
- Si existe una aceptación general de la técnica científica. Es decir, si la comunidad de odontólogos forenses, peritos e investigadores, la aprueban.

Los peritos en odontología forense podrían utilizar cualquier otra metodología (no necesariamente estándar Daubert) para la elaboración de sus dictámenes siempre y cuando demuestren ante el juez que cumplen con las especificaciones de su principal referencia que es el estándar Daubert. En caso de que el perito no sea contundente, corre riesgo el grado de confiabilidad de la prueba. Cabe señalar que, desafortunadamente no siempre los operadores jurídicos (Ministerio Público, Defensa y asesor jurídico) se encuentran debidamente capacitados, por ende, no indagan lo suficiente en los interrogatorios y contrainterrogatorios a los peritos, con el fin de conocer si la prueba satisface el estándar Daubert.

## ARGUMENTACIÓN EN JUICIOS ORALES: EL INTERROGATORIO Y CONTRAINTERROGATORIO DEL EXPERTO EN ODONTOLOGÍA FORENSE

En el proceso penal, durante la audiencia de un juicio oral, se lleva a cabo el desahogo de interrogatorios y contrainterrogatorios a peritos. Tanto el Ministerio Público, como el defensor y asesor jurídico de la parte ofendida (si fuera el caso) tienen derecho a realizar preguntas al perito. A partir de la información que se vaya vertiendo a lo largo de dicho interrogatorio, el juez deberá ir construyendo un modelo mental para la valoración de la prueba. Por ello, es muy importante que las partes realicen las preguntas ideales, de lo contrario el juez no contará con la información suficiente para llevar a cabo su función.

Durante el interrogatorio y contrainterrogatorio del perito se presenta una dinámica de argumentación dialógica entre las partes. Cuando el oferente de la prueba realiza las preguntas al perito va tratando de generar una idea al juez de lo que pretende demostrar de su teoría del caso y que la prueba es confiable, por eso, generalmente inicia con las preguntas sobre la acreditación del perito y sus conclusiones. Posteriormente la contra parte realiza el contrainterrogatorio, puede intentar desacreditar al perito, induciendo el modelo mental del juez a otra dirección, generalmente con el objetivo de devaluar el valor probatorio de la prueba.

Una recomendación que se realiza a las partes es, previo a plantear la pregunta, inferir cual es la respuesta que dará el perito, de esta forma sabrán cuál es la información que se quiere inducir para la decisión del juez. En la **tabla 5** se mencionan ejemplos de preguntas generales que se le podrían formular a peritos en odontología. Las preguntas en específico se deberán abordar de acuerdo con el objetivo que haya sido solicitado. Hasta ahora, se ha visto que el interrogatorio y contrainterrogatorio son un reto tanto para los operadores jurídicos como para los peritos, mientras que a los primeros les será exigido la formulación de preguntas atinentes, a los segundos se les exigirá que eleven los estándares de confiabilidad de la prueba.

## EXPECTATIVAS

La intervención de la odontología en el campo forense regido por el sistema jurídico denota la distancia entre el mundo normativo, la praxis y el campo científico. A continuación, se presentan algunas expectativas que pueden auxiliar al sistema en general.

### Participación del científico forense en un modelo integral

A partir de la creación de la Licenciatura en Ciencia Forense de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por primera vez se cuenta con la figura profesional del científico forense en nuestro país. Algunas de las virtudes que se buscan en este perfil según lo señalado por la Facultad de Medicina UNAM son las siguientes:

**Tabla 5.** Preguntas atinentes para el perito en odontología forense

**Preguntas sobre su acreditación**

**Permiten determinar si es o no el profesional competente para realizar el peritaje**

¿Cuál es su formación académica?

¿Cuenta con título profesional?

¿Cuenta con cédula profesional?

¿Ha realizado alguna especialización?

¿Ha tomado cursos de actualización? En caso de responder "Sí":

¿Qué cursos de actualización?

¿Hace cuánto tiempo los tomo?

**Preguntas sobre el objetivo de la intervención**

¿Sabe por qué se encuentra hoy aquí?

¿Cuál fue el objetivo de su intervención?

¿Qué material analizó?

**Preguntas sobre la técnica utilizada: Su validación, aceptación y probabilidad de error de conformidad con el estándar Daubert**

¿Qué técnica utilizó para llevar a cabo su análisis?

¿Por qué utilizó esa técnica y no otra?

¿La técnica utilizada ha sido validada?

¿La técnica utilizada es aceptada por la comunidad científica?

¿Hace cuánto tiempo fue aprobada la técnica que utilizó?

¿Existen técnicas más recientes que sirvan para el mismo objetivo de investigación que le fue solicitado?

¿Cuál es la probabilidad de error de la técnica que usted utilizó?

**Preguntas sobre la conclusión(es)**

¿Cuál fue su conclusión(es)?

Fuente: Patricia López Olvera

[Que] tenga una visión integral de su profesión; que aplique metodologías científicas para procesar indicios; que sea capaz de analizar, discernir y disentrir en el estudio del lugar de los hechos, la víctima, el victimario, el contexto y los factores psicosociales; que identifique y obtenga el material sensible significativo, bajo las reglas del cuidado de cadena de custodia; que sea capaz de argumentar sus pruebas y conclusiones en el proceso judicial; que genere conocimiento mediante investigación científica y que actúe con profesionalismo y ética, siempre consciente de que su ejercicio profesional tiene importantes implicaciones ético jurídicas.

A pesar de que este perfil profesional no puede emitir dictámenes en todas las áreas de la ciencia forense y desahogarlos ante una autoridad judicial, si es posible que emita su opinión científica sobre el trabajo que otros peritos realizan, sea cual sea, el área forense. Lo anterior, dado que están capacitados teórica, metodológica, técnica y sobre todo científicamente sobre cada una de estas. En caso de participar en evaluación o asesoramiento de peritajes, se introduce por lo menos en materia de derecho procesal penal, bajo la figura del consultor técnico en el juicio oral, con fundamento en el art. 136 del Código Nacional de Procedimientos Penales.

El consultor técnico-científico tiene la función de orientar a las partes (ministerio público, asesor jurídico y defensa) para hacer las preguntas atinentes durante el interrogatorio y contrainterrogatorio del perito. La intervención de esta figura sería particular ya que no ha sido integrada como un ente público más dentro de la estructura orgánica de las fiscalías o incluso de los tribunales de justicia.

El científico forense al contar con un conocimiento multidisciplinario, sin duda alguna, puede fungir como consultor técnico en cualquier proceso en materia penal. Incluso puede realizar un análisis sobre la carpeta de investigación, orientar a las partes sobre las pruebas idóneas para demostrar la teoría del caso y dirigir las preguntas que se le deben formular a los peritos durante la audiencia de juicio oral a fin de que estén encaminadas a un propósito.

### Peritajes interdisciplinarios

El científico forense podría ser el profesional apto para defender peritajes interdisciplinarios. Si bien, la elaboración del dictamen correspondería a un grupo de investigación forense, su conocimiento le permitirá abordar el dictamen desde diferentes áreas forenses y poder desahogarlo ante un tribunal dado que cuenta con la formación para responder todas las preguntas que le formulen las partes.

El científico forense recibe una preparación para transmitir el conocimiento técnico y científico a los profesionales en materia forense, especialmente operadores jurídicos y jueces, utilizando un lenguaje claro, sencillo, puntual, directo y contundente. Además, conoce la necesidad que tiene un juez para allegarse de argumentos que le permitan obtener la toma de decisión y emitir una sentencia. A partir de lo anterior, el científico forense sería el pionero en la defensa de peritajes interdisciplinarios. Una ventaja de estos peritajes es el ahorro de tiempo durante las audiencias, y no habría necesidad del desahogo de varios peritajes de manera independiente, sino que, a partir de un mismo experto, el científico forense desahogaría un solo peritaje, pero con múltiples objetivos secundarios.

Los retos de los peritajes interdisciplinarios son:

- Realizar una propuesta de solicitudes de intervención pericial para peritajes interdisciplinarios.

- Realizar una propuesta de formato de peritajes interdisciplinarios.
- Realizar adecuaciones a marco jurídico mexicano que facilite la presentación de estos peritajes con la figura del científico forense.

Cabe señalar que en México se cuenta con antecedentes de peritajes interdisciplinarios, aunque no de su presentación ante tribunal. La referencia es el trabajo realizado por el Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF), en específico, el informe sobre el “Caso Ayotzinapa” (2016) en el que intervinieron equipos de arqueología, antropología, odontología, criminalística, entomología y botánica forenses, biología, balística, dinámica del fuego, interpretación de imágenes satelitales y odontología forense entre otras, lo que permitió un enfoque interdisciplinario con una comprensión más holística y, por ende, más completa, para la debida comprensión del Sitio Basurero de Cocula.

Estos trabajos no sólo deberían realizarse cuando se trata de casos que atraigan la atención nacional, sino en todos aquellos que requieran ser atendidos interdisciplinariamente. Se espera que con la nueva Ley Orgánica de la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México se pueda promover la práctica de este tipo de peritajes bajo el fundamento del Art. 59, fracción II, en donde se señala que es obligación de la Coordinación General de Investigación Forense y Servicios Periciales, formar los equipos inter y multidisciplinarios e interinstitucionales en las distintas especialidades forenses con la colaboración de la Policía de Investigación, cuando se requiera.

### CONCLUSIONES

La ciencia forense se desarrolla bajo un esquema jurídico que define la intervención de la odontología forense, de este modo es posible reconocer la complejidad multifactorial. Idealmente, todos los elementos deberían de funcionar como un solo sistema articulado entre los expertos y responsables de las áreas que participan en cada etapa; sin embargo, se puede incurrir en procesos deficientes. Por ejemplo: 1) Solicitudes erróneas por el desconocimiento de los alcances y limitaciones del área odontológica cuando deberían tener un objetivo claro, pertinente y definido. 2) El peritaje forense, que es guiado por protocolos no homologados o no actualizados para resolver un cuestionamiento definido. 3) Las brechas

terminológicas y conceptuales entre abogados, jueces y peritos para la interpretación técnicas, metodologías científicas y de estandarización de las pruebas. 4) Todas las áreas forenses que se pronuncian de manejar técnicas bajo estándares científicos deben fundamentar tal dicho. 5) El estándar Daubert es un criterio aceptado jurídicamente, que puede ser útil para la fundamentación científica del trabajo forense, sin embargo, no es único y desde luego, es perfectible dado que tiene que ser contextualizado a la investigación que se realiza en cada área forense en México, como es el caso de la odontología.

Cada una de las menciones anteriores son áreas de oportunidad y claves para una buena investigación forense. En este modelo se visualiza que el científico forense por contar con una formación interdisciplinaria puede tener un rol importante. Es decir, puede orientar al Ministerio Público para solicitar intervenciones adecuadas, o durante la dictaminación pericial para validar y estandarizar las pruebas, así como en los juicios orales para generar las preguntas o respuestas pertinentes. Esto no significa que sea la solución a tan compleja problemática, sino más bien se traduce a una gran responsabilidad y compromiso que actualmente les corresponde a las instituciones, peritos y a los diferentes actores involucrados en el campo forense.

## REFERENCIAS CITADAS

- AlQahtani, S.J.; Hector M.P.; and Liversidge H.M. 2014. Accuracy of Dental Age Estimation Charts: Schour and Massler, Ubelaker, and the London Atlas. *American Journal of Physical Anthropology* 154:70–78.
- Acharya, A. B. and Mainali. S. 2008. Sex Discrimination Potential Of Buccolingual And Mesiodistal Tooth Dimensions. *J. Forensic Sci.* 53, 790–792.
- Aragón, N.; Bastidas, C.; Bedón, L.; Duque, P.; Sánchez, M.; Rivera, S.; Triana, F.; Bedoya, N, Moreno, F. 2008. Rasgos morfológicos dentales coronales en dentición temporal y permanente: Distancia biológica entre tres grupos indígenas del Amazonas Colombiano. *Rev. Odontol. Mex.*
- Asamblea Legislativa de la Ciudad de México, I Legislatura. 2019. *Ley Orgánica de la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México.*
- Balwant R, Jasdeep K. 2013. *Evidence based Forensic Dentistry.* Springer Heidelberg New York, Dordrecht London.
- Barceló, J. G. 2009. *Análisis discriminante del dimorfismo sexual en dientes permanentes de la población contemporánea de Izamal, Yucatán.* Escuela Nacional De Antropología e Historia. Posgrado de Antropología Física. Tesis de Maestría.
- Benítez Espinoza C.A y Escorcía Hernández L. 2017. *Ecuaciones de regresión para la estimación de la edad en dientes caninos de población adulta mexicana contemporánea.* Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Berg Gregory E., Ta'ala Sabrina C. 2015. *Biological Affinity in Forensic Identification of Human Skeletal Remains.* Boca Raton, FL. USA CRC Press Taylor Francis Group.
- Berketa John, James Helen, Lake Anthony. 2012. Forensic odontology involvement in disaster victim identification. *Forensic Sci Med Pathol*, 8:148–156
- Burns, K. R., Wallington, J., Trellisó, L., y Campillo, D. 2008. *Manual de antropología forense:* Ediciones Bellaterra.
- Cadenas I; Celis C; Hidalgo A. 2010. Método de Dermirjian para estimación de edad dentaria en base a estadios de mineralización. *Anu. Soc. Radiol. Oral Máxilo Facial de Chile.* 17-23. Chile.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2016. *Código Nacional de Procedimientos Penales.* México.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2018. *Ley Orgánica de la Fiscalía General de la República.* México
- Cameriere R. Ferrante L. Cingolani M. 2004. Variations in Pulp/Tooth Area Ratio as an Indicator of Age: a Preliminary Study. *Journal Forensic Sci.* Vol 49 No.2 1-3

- Cameriere R, Ferrante L, Belcastro M.G, Bon Figlioli B, Rastelli E, Cingolani M. 2007. Age Estimation by Pulp/Tooth Ratio in Canines by Peri-Apical X-Rays. *Journal Forensic Sci.* Vol 52 No.1 166-170.
- Cucina Andrea. 2011. Manual de antropología dental, Mérida Yuc. UADY.
- Cucina Andrea. 2013. Afinidades biológicas y dinámicas poblacionales entre los antiguos mayas. Mérida, Yucatán, UADY.
- Cucina Andrea. 2016. Oaxaca and its neighbors in Prehispanic times: Population movements from the perspective of dental morphological traits. *Journal of Archaeological Science.*
- Consejo Nacional de Seguridad Pública. 2017. Primer Respondiente, protocolo nacional de actuación. México.
- Dahlberg A. A. 1971. Penetrance and expressivity of dental traits. en: *Dental Morphology and Evolution*, The University of Chicago Press, Chicago
- Davies C.M., Hackman L., Black S.M. 2014. The foot in forensic human identification – A review. *The foot.* Volume 24, Issue 1:31-36
- De Angelis D; Mele E; Gibelli D; Merelli V; Spagnoli L; Cattaneo C. 2015. The aplicability of the Lamendin method to skeletal remains buried for a 16-year perios: a cautionary note. *Journal of Forensic Sciences* Vol. 60 No. S1.
- Delgado-Burbano, M. E. 2007. Population affinities of African Colombians to Sub-Saharan Africans based on dental morphology.
- Demirjian A. 1973. A new system of dental age assessment. *Human Biology.*45 (2): 211-227.
- Devoto, F. C., Arias, N. H., Ringuélet, S. y Palma, N. H. 1968. Shaped incisors in a Northwestern Argentine population
- Díaz Leite V.V. 2018. Comparación de la edad cronológica real y estimada por el método de Cameriere a partir de una muestra de caninos maxilares femeninos. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Antropología e Historia. México.
- Dirkmaat Dennis C., Cabo Luis L., Ousley Stephen D., and Symes Steven A. 2008. New Perspectives in Forensic Anthropology. *Yearbook of Physical Anthropology* 51:33-52
- Equipo Argentino de Antropología Forense. 2016. Dictamen sobre el basurero de Cocula. Argentina.
- Filipović, G., Radojčić, J., Stošić, M., Janošević, P. and Ajduković, Z. 2013. Odontometric Analysis Of Permanent Canines In Gender Determination. *Arch. Biol. Sci.* 65, 1279–1283.
- Flores Serrano. 2007. Morfología dental y mestizaje en una población contemporánea de Zimapan, Hidalgo. Rasgos morfológicos dentales, Tesis ENAH.
- Garamendi P.M; Landa M.I. 2003. Estimación forense de la edad en torno a 18 años. Revisión bibliográfica. Cuadernos de Medicina Forense No. 31.
- García, A.; Gustín, F.; Quiñonez, C.; Sacanamboy, L.; Torres, M. H.; Triana, L.; Valencia, D; Rojas, E.; Gómez, J. & Moreno, F. 2015. Morfología de incisivos y molares de un grupo de afrodescendientes de Cali, Valle del Cauca (Colombia). *Rev. Estomatología*
- García-Castillo Z., Graue-Wiechers E., Durante-Montiel I. y Herrera P. 2014. La Licenciatura en Ciencia Forense, un reto nacional. *Gaceta Médica de México.* 150: 108-114.
- García Morales A.A. y Meza Manzanilla M. 2016. Tamaño dental como indicador de dimorfismo sexual en poblaciones de filiación amerindia y mestiza de México. Escuela Nacional De Antropología e Historia. Posgrado de Antropología Física. Tesis de Maestría.
- George Rebecca. 2015. Non-metric and metric dental assessment of ancestry in contemporary mexican individuals: an aid to identifying undocumented border crossers. Thesis Master of Arts in Anthropology. Faculty of California State University, Chico
- Gil-Chavarría I. y Sosa-Reyes Ana. 2018. Testigos dentales: los materiales de la odontología forense. Academia de Ciencias de Morelos.
- Girón, G.; Gómez, P.; Morales, L.; León, M. & Moreno, F. 2009. Rasgos morfológicos y métricos dentales coronales

- de premolares superiores e inferiores en escolares de tres instituciones educativas de Cali, Colombia. *Int. J. Morphology*.
- González Colmenares G. 2007. Determinación de la edad en Adultos Mediante un método dental. Aplicación Análisis. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Facultad de Medicina. Granada, España.
- Greenberg Joseph H., Turner Christy G. et al. 1986. *The Settlement of the Americas: A Comparison of the Linguistic, Dental, and Genetic Evidence*, Current Anthropology, Chicago.
- Gustafson G. 1950. Age determination on teeth. *Journal of the American Dental Association* 45-54.
- Hernández Márquez I. y Espinosa García Carlos. Estimativa de edad dental con la técnica Lamendin en población mexicana con fines de investigación forense. Facultad de Odontología UNAM. Tesis Licenciatura.
- Hinchliffe J. 2011. Forensic odontology, part 1. Dental identification. *British Dental Journal* Vol. 210 No.5
- Hillson, S. 1996. *Dental anthropology*: Cambridge University Press
- Hodgins, G.W. 2009. Measuring atomic bomb-derived 14C levels in human remains to determine year of Birth and/or year of Death. US Department of Justice. 1-98
- Hünemeier Tábita. 2013. De un alelo del gen EDAR en totónacos de la sierra Norte de Puebla y mestizos de la ciudad de México de Antropología Biológica, México.
- Katz Evgeny, Halámek Jan. 2015. *Forensic Science: A Multidisciplinary Approach*. Wiley-VCH.
- Kieser, J. A. 1990. Sexual Dimorphism In Tooth Size. In 63-73 Cambridge University Press.
- Konigsberg, Bridget, Algee-Hewitt, y Steadman. 2009. Estimation an evidence in forensic anthropology: sex and race. *Am J. Phys Anthropol.* 139 (1) 77-90.
- Lamedin, H. 1988. Age determination with the simplified Gustafson method. *Le Chirurgien-dentiste de France*, 58 (427), 43-47.
- Legal Information Institute. 2015. *Federal Rules of Evidence*. USA.
- Maldonado M:B; Briem Stamm. 2013. Métodos para estimación de edad dental: Un constante desafío para el odontólogo forense; *Gaceta Internacional de Ciencia Forense* No. 6 Enero-Marzo. Argentina.
- Márquez, T.A.M. y Escocia Hernández L. 2018. Determinación de Sexo a través de rasgos odontométricos en una muestra esquelética contemporánea de Adultos de Zimapán, Hidalgo. *Escuela Nacional de Antropología e Historia Determinación*. Tesis de Licenciatura en Antropología Física.
- Martín De Las Heras S. (2005). Estimación de la edad a través del estudio dentario. *Ciencia Forense Revista Aragonesa de Medicina Legal* No. 7. 69-90 España.
- Meza Solís E. y Solís Rosales C. 2016. Fechamiento de piezas dentales modernas con Carbono-14 por espectrometría de masas con aceleradores. Tesis de Licenciatura de la carrera de Física. Facultad de Ciencias UNAM.
- Morales, A.A.G. 2016. Tamaño dental como indicador de Dimorfismo Sexual en poblaciones de filiación amerindia y mestiza de México. *Escuela Nacional De Antropología E Historia*.
- Morales Guillén M. E. y Solís Rosales C. 2018. Determinación de 14C presente en esmalte y dentina de muestras dentales modernas por espectrometría de masas con aceleradores. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Química, UNAM.
- Moreno, S. & Moreno, F. 2007. Importancia clínica de la antropología dental. *Rev. Estomatología*
- Naciones Unidas Derechos Humanos. 2017. *Protocolo de Minnesota sobre la investigación de muertes potencialmente ilícitas* (2016). New York & Ginebra.
- Naciones Unidas Derechos Humanos. 2009. *Protocolo modelo para la investigación legal de ejecuciones extrajudiciales, arbitrarias y sumarias* (Protocolo de Minnesota). Colombia.
- Narang, R. S., Manchanda, A. S., Malhotra, R. and Bhatia, H. S. 2014. Sex Determination By Mandibular Canine Index And Molar Odontometrics : A Comparative Study. 5, 83-88.
- Narang, R., Kahlon, S., Singh, B. and Manchanda. 2015. A. Diagonal Tooth Measurements In Sex Assessment: A

- Study On North Indian Population. *J. Forensic Dent. Sci.* 7, 126.
- Nolla, C. 1960. The development of the permanent teeth. *Journal of Dentistry for Children*, 27, 254-266.
- Pacheco Santiesteban R. 2010. Estimación de la edad dental en pacientes entre los 4 y 21 años de edad en una población de la Ciudad de Chihuahua, México. Tesis Doctoral. Universidad de Granada Facultad de Odontología.
- Peckmann, T. R., Meek, S., Dilkie, N. & Musset, M. 2015. Sex Estimation Using Diagonal Diameter Measurements Of Molar Teeth In African American Populations. *J. Forensic Leg. Med.* 36, 70-80.
- Pérez M; Herrera A; Moreno S; Moreno F. 2016. Estimación de la edad dental a través de seis métodos radiográficos en un grupo de afrodescendientes y mestizos caucasoideos. *Cuad. Med Forense* 22(3-4) 81-92
- Pimentel Merlín, M., Gallardo Velázquez, A., and Cisneros Reyes, H. 2012. Afinidad biológica a través de la morfología dental de dos muestras de la Península de Yucatán, México. *Cuicuilco*
- Pinto-Cisternas, J. & Figueroa. 1968. H. Genetic structure of a population of Valparaíso. II. Distribution of two dental traits with anthropological importance. *Am. J. Phys. Anthropology*.
- Pizano Damasco M.I; Quezada Márquez M.M; Del Castillo López C.E; Orejuela Ramírez F.J. 2016. Estimación de la edad de acuerdo al método de Demirjian en niños de 4 a 16 años de la Ciudad de Puebla, México. *Revista Estomatol Herediana Jul-Set*; 26 (3) 139-146.
- Prajapati Ghevaram et al. 2018. Role of forensic odontology in the identification of victims of major mass disasters across the world: A systematic review. *PLoS ONE* 13(6): e0199791.
- Pramod, R. et al. 2014 Role of Maxillary and Mandibular Canine Indices In Sex Determination: Perspective Of A Forensic Odontologist Role Of Maxillary And Mandibular Canine Indices In Sex Determination: Abstract.
- Prince D.A., Ubelaker DH. 2002. Application of Lamendin's adult dental aging technique to a diverse skeletal sample. *J Forensic Sci.*;47(1):107-16.
- Procuraduría General de la República. 2015. Protocolo de investigación ministerial, policial y pericial con perspectiva de género para el delito de feminicidio. México.
- Procuraduría General de la República. 2015. Protocolo para el tratamiento e identificación forense. México.
- Pulido Jiménez N., Melo Santisteban G., Denis Rodríguez E., Zamora Hernández A. 2017. Análisis comparativo de la técnica de Lamendin y la técnica de González-Colmenares para estimación de edad en adultos. *Revista Mexicana Med. Forense*. México.
- Regalado Ruíz L.A; Del Ángel A. 2008. Estimación de la edad con base en la medición de la transparencia de la dentina radicular en dientes permanentes; *Revista ADM Vol. LXV No. 4* 195-199; México.
- Regalado Ruíz L.A., Del Ángel Escalona A., Serrano Sánchez C. Transparencia radicular y estimación de la edad en una población esquelética proveniente de un cementerio contemporáneo del estado de Hidalgo, México. *Revista ADM*. 127-132 México 2017.
- Ribeiro L. J., Borges dos Santos Q. S., Márquez F.M., Saavdra de Paiva L.A., Nogueira de Oliveira R. 2014. Age estimation by teeth periodontosis and transparency: accuracy of Lamendin's Method on a Brazilia sample. *Brasil J. Oral Sci.* 13 (1) 17-21 Brasil.
- Rodríguez D., 2004. La antropología dental y su importancia en el estudio de los grupos humanos prehispánicos", *Revista de Antropología Experimental*.
- Rothhammer, F; Benado, M. & Pereira, G. 1971. Variability of two dental traits in Chilean Indian and mixed populations. *Human. Biology*.
- Santoro V; Fidanca C; Roca R; Marini C; De Donno A; Introna F. 2015. Validity Comparison of Three Dental Methods for Age Estimation Based on Tooth Root Translucency. *Journal of Forensic Sciences Vol. 60 No. 5*.
- Scott GR. 1973. Dental morphology: a genetic study of American white families and variation in living Southwest Indians. Tesis de Doctorado. Arizona State University, Tempe.
- Scott, GR. y Turner CG. 1988. "Dental anthropology", *Annuals Review of Anthropology*.
- Scott GR, Turner CG. 1997. *The Anthropology of Modern Human Teeth*. Cambridge University Press, Cambridge.



- Spalding, K.L., Buchholz, B. A., Bergman, L.E., Druid, H., Frisén, J. 2005. Forensics: age written in teeth by nuclear tests. *Nature*. 437-7057: 333-334.
- Staka G., Asllani-Hoxha F. and Bimbashi V. 2016. Sexual Dimorphism In Permanent Maxillary Central Incisor In Kosovo -Albanian Population. *Int. J. Morphol.* 34, 1176–1180.
- Stanley Serafin 2007. Investigación bioarqueológica de la antigua población de Mayapan Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México.
- Suazo, I. et al. 2008. Sexual Dimorphism In Mesiodistal And Bucolingual Tooth Dimensions In Chilean People. *Int. J. Morphol.* 26, 609–614
- Toshio Kubodera Ito, Díaz, Z., Carri-, E. L., Montiel, N. M., Esquivel, G. I. and Centeno, C. 2008. Dimensiones Coronales Mesiodistales en la Dentición Permanente de Mexicanos. *Rev. La Asoc. Dent. Mex.* LXV, 141–149
- Tribunal Superior de Justicia de la Ciudad de México. 2018. Guía técnica para la realización de necropsias en caso de feminicidio. México.
- Tribunal Superior de Justicia del Distrito Federal. 2011. Manual de Procedimientos del Servicio Médico Forense. México.
- Turner CG, Nichol CR, Scott GR. 1991. Scoring procedures for key morphological traits of the permanent dentition: the Arizona State University Dental Anthropology system. *Advances in Dental Anthropology*, editado por MA Kelley, CS Larsen, Wiley Liss, NewYork.
- Ubelaker DH. 1978. *Human skeletal remains: excavation, analysis, interpretation*. Chicago: Aldine Publishing Co. Inc
- Ubelaker,D., Parra R.C. 2011. Radiocarbon analysis of dental enamel and bone to evaluate date of birth and death: Perspective from the southern hemisphere. *Forensic Sci. Int.* 208:103–107.
- Vargas, A. J. U. 2017. Odontometría y Dimorfismo Sexual en la Medición del Diámetro Mesiodistal de Incisivos y Caninos Permanentes Maxilares en La Identificación Odontológico Forense. Universidad Nacional Mayor De San Marcos.
- Viciano, J., Alemán, I., D'Anastasio, R., Capasso, L. and Botella, M. C. 2011. Odontometric Sex Discrimination in The Herculaneum Sample (79 AD, Naples, Italy), With Application to Juveniles. *Am. J. Phys. Anthropol.* 145, 97–106
- Vilcapoma Guerra H.J. 2012. Método Dental modificado para la estimación de la edad en individuos adultos; Odontología Sanmarquina. Lima, Perú.
- Villanueva, P.; Quevedo, M.; De Barbieri, Z.; Piñeiro, S.; Herrero, C.; Fernández, M. A. & Palomino, H. 2015. Dental morphological markers as a proxy for ethnicity in Robinson Crusoe islanders. *Int. J. Morphology*.
- Wagner Glenn N. "Scientific Methods of Identification" en: Stimson Paul G., Mertz Curtis A. 1997. *Forensic Dentistry*. CRC Press.
- Washburn, S. L. and Ciochon, R. L. 1974. Canine Teeth: Notes on controversies in the Study of Human Evolution. *Am. Anthropol.* 76 76, 765–784.
- Zorba, E., Spiliopoulou, C. and Moraitis, K. 2013. Evaluation of The Accuracy of Different Molar Teeth Measurements in Assessing Sex. *Forensic Sci. Med. Pathol.* 9, 13–23.

# 13

## Marcas de Actividad en el Esqueleto y su Uso en la Antropología Forense

Gerardo Valenzuela Jiménez<sup>1</sup>

Palabras clave: actividad ocupacional, aparato locomotor, lesiones en el esqueleto.

### RESUMEN

Las actividades cotidianas que desarrollamos humanos requieren del funcionamiento coordinado del aparato locomotor, el cual está compuesto de huesos, músculos y articulaciones, tales estructuras son el instrumento físico que nos permiten movernos y adoptar múltiples posiciones de nuestro cuerpo. Con el paso de los años, en el esqueleto puede quedar una huella de dichos movimientos y posturas, lo que nos puede dar referencias sobre la actividad que desarrollaban las personas en vida; por lo tanto, puede ser usado como una variable más en el proceso de identificación de las personas en el contexto de antropología forense. En el presente capítulo se revisa la metodología de análisis de las diferentes lesiones en los huesos que tienen asociación con la actividad ocupacional. Además, se expone un caso donde se valida el uso y potencial de los marcadores utilizados en este tipo de estudios.

### ABSTRACT

The daily activities that we develop humans require the coordinated functioning of the locomotor apparatus, which is composed of bones, muscles and joints, such structures are the physical instrument that allow us to move and adopt multiple positions of our body. Over the years, the skeleton can leave a trace of these movements and postures, which can give us references about the activity that people developed in life; therefore, it can be used as another variable in the process of identifying people in the context of forensic anthropology.

In this chapter we review the methodology for analyzing the different injuries in the bones that are associated with occupational activity. In addition, a case is presented where the use and potential of the markers used in this type of studies is validated.

---

1 Escuela de Antropología e Historia del Norte de México, Chihuahua, Chiñ.

## INTRODUCCIÓN

Siguiendo las propuestas de Thomas Dale Stewart (1979) y de la *American Board of Forensic Anthropology* (2018), la antropología física o biológica forense, se puede definir como la aplicación de las técnicas científicas desarrolladas en la antropología física al proceso legal de identificación de personas. Los antropólogos físicos o biológicos especializados en el área forense centran principalmente sus estudios en el esqueleto humano, su principal labor es el reconocimiento de las características particulares de cada individuo involucrado, las cuales pueden llevar a su identificación (Komar y Buikstra, 2008).

De acuerdo a esto, es de suma importancia que el profesional a cargo, conozca todo los parámetros que ayuden a la individualización de los sujetos a partir de sus restos, tales como los rasgos morfológicos y morfométricos que ayudan a conocer el sexo y la edad de los individuos, así como el reconocimiento de señas particulares que se puedan encontrar en los huesos; por ejemplo, lesiones ante y pos mortem, huellas dejadas por alguna enfermedad padecida en vida, o bien por las actividades cotidianas realizadas por los individuos. El estudio de cada una de estas unidades deberá ayudar a conocer el conjunto de rasgos de los cuales se compone un individuo.

Por dichas razones, en el presente capítulo se hablará de las huellas que pueden llegar a relacionarse con la acción del sistema músculo esquelético durante la realización de actividades cotidianas, o bien por la postura del cuerpo durante periodos de tiempo prolongados. El reconocimiento y análisis de dichas marcas pueden aportar información sobre los probables ejercicios físicos cotidianos que desarrollaban los sujetos en vida, lo que equivale a conocer su posible actividad ocupacional, dato de gran relevancia en el proceso de identificación humana.

Además de explicar el marco conceptual y la metodología de análisis, en el presente escrito se expondrá un estudio de caso para ejemplificar el uso de la técnica.

## ANTECEDENTES

### Los primeros estudios

El interés por el análisis de las marcas de ocupación tiene su origen en la literatura médica, ocupaciones, enfermedades de militares y obreros en la mitad del siglo XVI en Europa fueron la atracción para algunos médicos interesados en conocer las relaciones que existían entre las diversas ocupaciones realizadas por la gente de aquellos tiempos y ciertas enfermedades.

Uno de los primeros trabajos en medicina industrial apareció en el año 1700 con el título: *A Treatise on the Diseases of Tradesmen* escrito por Bernardino Ramazzini, por el que fue nombrado padre de la medicina industrial. En su obra relaciona los síntomas de envenenamiento por los residuos de metales entre los artesanos y pintores de la pequeña ciudad de Modena en Italia, concluye que cada ocupación tiene en particular un tipo de enfermedades (Kennedy 1989).

En el siglo XIX, Charles Turner Thackrah, publicó un estudio de medicina industrial en Inglaterra llamado *The Effect of the Principal Arts*, el cual habla de las deformaciones de la pelvis y de la columna vertebral presentes en obreros, él reconoció que esto es debido a los largos periodos de trabajo y a las malas condiciones de este guard; además de la mala nutrición que prevaleció en los primeros días de la Revolución Industrial en Inglaterra (Kennedy, 1989).

En la segunda mitad del mismo siglo XIX, un número considerable de anatomistas estudiaron las irregularidades en el esqueleto humano, entre ellos se encontraba William Arbuthnot Lane, médico escocés quien atendía a personas de clase trabajadora, las cuales mantuvieron una actividad pesada a lo largo de su vida, algunas de ellas presentaban deformaciones en el esternón y clavícula, las cuales atribuyó al manejo de cargas pesadas. Lane utilizó la frase “cambios por presión” para referirse a las marcas anatómicas desarrolladas en respuesta a la actividad habitual, distinguiéndolas de las marcas provocadas por traumatismos y por la edad avanzada (Kennedy, 1989).

El nombramiento específico a las modificaciones anatómicas del esqueleto como marcas de ocupación, por sus siglas en inglés (MOS), es atribuido a Francesco Ronchese, de la escuela de medicina en la Universidad de Boston, E.U.A., quien en 1948 publicó su obra titulada *Occupa-*

*tional Marks and Other Physical Signs: A Guide to Personal Identification*. El autor expuso varios ejemplos en los cuales identificó diversas marcas en el esqueleto, las cuales atribuyó al estrés ejercido por las condiciones del estilo de vida y el comportamiento individual de los sujetos representantes de un amplio espectro socioeconómico (Wilczak y Kennedy, 1998).

Aunque el interés por el estudio de las marcas de ocupación existía desde épocas muy tempranas, no es sino hasta el siglo XX que comienzan a realizarse trabajos más sistemáticos para comprender la relación que hay entre la actividad ocupacional, las modificaciones morfológicas del individuo y las enfermedades padecidas. Ejemplo de esos estudios se encuentran compilados en el libro *Paleopathology at the Origins of Agriculture* editado en 1984 por Mark Cohen y George J. Armelagos. En dicha obra se presentan estudios paleodemográficos en poblaciones prehistóricas que muestran los desafíos que enfrentaron aquellos pobladores durante el proceso de transición socioeconómica y sus adaptaciones de la vida de cazador recolector al pastoreo agricultor, y cómo esos cambios afectaron a la salud humana. Sus aportaciones se refieren específicamente a cómo dicha transición afectó a aquellas poblaciones, provocando nuevos padecimientos.

También se destaca el trabajo realizado por Olivier Dutour (1986), quien llevó a cabo comparaciones entre algunas lesiones encontradas en una población del neolítico del Sahara y deportistas actuales con actividades como el lanzamiento de jabalina. Este autor es quien definió el término de *entesopatías*, refiriéndolo como las lesiones observadas en los huesos causadas por la hiperactividad de los músculos y de los tendones en sus sitios de inserción. Además, propone una relación entre dichas marcas y la ocupación de los individuos (Medrano, 1999 y Alfaro 2002).

Por otra parte, Stirland (1993) evalúa la asimetría y los cambios morfológicos en huesos masculinos de dos muestras esqueléticas de Inglaterra, una de ellas fue la rescatada del navío del Rey Enrique Octavo, abanderado el *Mary Rose*, hundido en 1545; la otra muestra procedió del cementerio de la iglesia medieval de Santa Margaret, del este de Inglaterra. El estudio indica que los huesos rescatados del navío presentan un mayor número de lesiones y asimetrías respecto a los del cementerio. El autor relacionó dichos resultados a la fuerte actividad realizada

por tiempos prolongados por las personas que ocuparon el barco, lo que indicó a su vez, se trató de los marineros de dicha embarcación.

Los estudios de marcas de actividad han sido bien documentados por Kenneth Adrian Raine Kennedy, quien describe unas 140 marcas de ocupación reportadas en publicaciones médicas y antropológicas. Él realiza una tabla en donde se pueden observar las distintas lesiones provocadas en huesos específicos, dependiendo de la actividad habitual realizada por los individuos en vida. Además, describe el movimiento de los músculos implicados en tales actividades (Hawkey y Merbs; 1995).

Desde sus inicios, este tipo de investigaciones se enfocaron en tratar de hacer una reconstrucción de las poblaciones pretéritas con la finalidad de interpretar el modo de vida y la organización social que condicionaba a los individuos. El investigador ponía énfasis en el análisis de las marcas músculo - esqueléticas presentes en los huesos y en el contexto arqueológico e histórico que evidenciara la probable actividad realizada en vida por los integrantes de aquellas poblaciones.

Por otra parte, la antropología forense ha tenido interés en familiarizarse con las marcas de actividad músculo esquelética con la finalidad de usarlas para hacer identificaciones personales en su seguimiento médico-legal. Quien ha contribuido significativamente al tema es el desaparecido J. Lawrence Angel (1915 - 1986), quien fue curador de la sección de antropología física del Museo Nacional de Historia Natural del Instituto Smithsonian. Por cuarenta años recolectó datos biológicos del esqueleto humano de antiguas poblaciones mediterráneas y su conocimiento en marcas de ocupación contribuyó a su éxito como antropólogo forense en identificación de restos humanos. Entre otros colaboradores importantes a este tópico se encuentran Donald J. Orther del Instituto Smithsonian; Charles F. Merbs de la Universidad de Arizona y Stephen Molnar de la Universidad de Washington (Kennedy, 1989).

Es importante señalar que existen variables a considerar en la evaluación de las marcas de actividad músculo esquelética; como son el sexo, la edad, posibles patologías y varios agentes biomecánicos que pueden intervenir en el proceso de remodelación de los sitios de inserción de músculos y ligamentos; las primeras dos variables son las que mayor peso pueden tener, ya que se desconoce a ciencia cierta, si la activi-

dad hormonal puede influir en el proceso de remodelación ósea. En cuanto a la edad, Cardoso y Henderson (2010), al estudiar una muestra esquelética de sexo y edad conocidos, encuentran un aumento en las lesiones muscular esqueléticas conforme avanza la edad de los individuos, independientemente de la actividad realizada en vida. Por lo anterior, debe tenerse precaución cuando se analizan las lesiones muscular esqueléticas, ya que podría confundirse con alteraciones derivadas del envejecimiento; de ahí la importancia de contar con un apoyo contextual.

### MARCAS DE ACTIVIDAD MÚSCULO ESQUELÉTICAS Y SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD OCUPACIONAL

La realización habitual de las diferentes actividades físicas necesita un tipo específico de habilidades y esfuerzos para poder llevarlas a cabo; en consecuencia y al cabo de muchos años, el esqueleto humano puede reflejar de distintas maneras; la práctica de dicha actividad (Dutour 1986; Kennedy 1989, Stirland 1993). Esto tiene explicaciones en el ámbito de la biomecánica, la cual se encarga del estudio de la física del movimiento humano, integrando las fuerzas producidas por el cuerpo y las fuerzas actuantes sobre el mismo, así como las consecuentes modificaciones o deformaciones que éste sufre (Adrian y Cooper 1995).

Aunque el sistema esquelético haya alcanzado su madurez, el hueso continúa remodelándose a lo largo de la vida y adapta sus propiedades a las demandas mecánicas ejercidas sobre él. El movimiento del cuerpo humano se define como el cambio de posición corporal de una o varias de sus partes; estos movimientos son altamente variados y esta diversificación existe no sólo cuando una misma secuencia de movimientos es ejecutada por diferentes sujetos, sino también cuando un sujeto realiza la misma secuencia en diferentes ocasiones (Espinosa, 1997). En respuesta al movimiento inducido por los grupos musculares, el esqueleto humano puede llegar a responder con una serie de transformaciones en su morfología.

Los procesos moleculares y celulares con los cuales responde el hueso al estrés mecánico fueron estudiados por el anatomista alemán Julius Wolff, quien habla de la respuesta que tienen los huesos ante presiones, señalando que, dependiendo del tipo de presión que sea ejercida

sobre ellos, puede llegar a existir incremento y disminución de la masa ósea. Además, menciona que hay un remodelamiento en las áreas del hueso subcondral bien vascularizadas para resistir el estrés externo, provocando un reordenamiento en el sistema haversiano y trabecular en respuesta a los nuevos patrones de fuerzas de compresión y de estiramiento, que, con el tiempo, pueden cambiar el grosor de la capa cortical e incluso llegando a formar exostosis de varios tipos. Dicho de otra manera, el hueso al verse sometido a presiones provoca un aumento de tensión en los sitios de inserción de tendones y ligamentos, lo que puede manifestarse con elevaciones o depresiones en los sitios de inserción de dichas estructuras. Esta respuesta que tiene el hueso ante tal esfuerzo produce marcas de ocupación (Bostrom et al, 2000; Chapman, 2000; Haberland et. al., 2002; Hawkey y Merbs, 1995 y Kennedy, 1989).

Por lo tanto, las marcas de ocupación o marcas de estrés músculo – esquelético son una serie de alteraciones en los sitios de inserción de tendones y de ligamentos. En el primer caso, se les conoce con el nombre de entesopatías, refiriéndose al significado de sus raíces (*entheses* - sitios de inserción de tendones, y *pathos* - padecimiento), por lo que sería cualquier lesión localizada en los sitios de inserción de tendones. Por otra parte, las lesiones halladas en los sitios de inserción de ligamentos se les nombra como sindesmotipías (Stirland 1998). Es importante señalar esta diferenciación, ya que los tendones y ligamentos, aunque semejantes en su composición, sus funciones son diferentes. Los ligamentos se encargan de mantener unidos los huesos que forman una articulación, son especialmente resistentes y casi inextensibles evitando luxaciones (Tortora y Anagnostakos, 1993, Testut L. 1967). Mientras que los tendones son las estructuras por medio de las cuales el músculo se inserta en el hueso y ejerce tracción al contraerse. Comúnmente el tendón se une al periostio y ocasionalmente se introduce un poco en el propio hueso (De Lara G., et. al. 2001).

En ambos casos las lesiones son el resultado de la sobre utilización diaria de paquetes musculares durante la constante realización de una actividad física, o bien, por la permanencia por tiempo prolongado en una postura que provoca tensión en las articulaciones (Kennedy, 1998).

## MARCADORES DE ACTIVIDAD OCUPACIONAL EN EL ESQUELETO Y SU EVALUACIÓN

Dentro de los estudios de marcas de actividad ocupacional y vida cotidiana, autores como Hawkey y Merbs, 1995, Kennedy, 1989, Do-tuor, 1986 y Stirland 1993 entre otros, utilizaron diversos marcadores en el esqueleto para su análisis. Dichos marcadores son: robustez en los sitios de inserción muscular; entesopatías y sindesmosis; lesiones degenerativas en el tejido articular; lesiones en la columna vertebral; facetas supernumerarias, traumatismos y fracturas.

Para el registro de dichos marcadores, se recomienda el uso de cédulas gráficas, así como la elaboración de una nomenclatura que distinga los tipos de alteraciones en una misma cédula, por ejemplo, el uso de colores para cada indicador.

### ROBUSTEZ EN LOS SITIOS DE INSERCIÓN

Este marcador describe la reacción normal del esqueleto ante el uso habitual de los paquetes musculares en el desarrollo de las actividades cotidianas de los individuos. Esta reacción puede manifestarse en forma de rugosidades en los sitios de inserción de tendones y ligamentos que en su máxima expresión presentan acanaladuras o crestas, siendo la inserción tendinosa la más afectada ya que los músculos necesitan un área de inserción mayor para evitar rupturas (Hawkey y Merbs; 1995). Estos mismos autores indican que el grado de robustez en las áreas de inserción, ya sea de tendones o ligamentos, indi-

ca la cantidad y la duración de la actividad ejercida por los músculos o ligamentos involucrados en el movimiento realizado. Proponen una metodología para la evaluación de este marcador, la cual consiste en otorgar una puntuación de la zona donde los tendones se insertan en el hueso (tabla 1).

### ENTESOPATÍAS Y SINDESMOSIS

Como se ha mencionado, una entesopatía es cualquier lesión localizada en los sitios de inserción de tendones musculares (Medrano; 2001; Campillo, 2001), y si se trata de una inflamación se puede emplear la palabra entesitis (inflamación del tendón) (Campillo; 2001).

Hawkey y Merbs (1995) nombran como marcas de estrés músculo – esqueléticas a todas aquellas irregularidades visibles en los puntos de inserción de músculos, tendones y ligamentos, y señalan que a través del análisis de tales marcas es posible reconstruir el patrón de las actividades que llevaron a cabo las poblaciones en el pasado. No obstante, Stirland (1998) hace una diferenciación en cuanto al nombre que se le asigna a las diferentes marcas encontradas en los huesos, señala que las áreas de inserción de tendones y ligamentos se encuentran marcadas en el esqueleto, en mayor o menor grado, y éstas pueden formar estructuras visibles en los huesos. Tales estructuras son conocidas como entesopatías, en el caso de que se trate de inserciones de tendones, y cuando la marca en los huesos sea en el sitio de inserción de ligamentos, se habla de sindes-mopatías.

**Tabla 1.** Puntuación y descripción para el registro de la robustez en los sitios de inserción de tendones y ligamentos

Puntuación	Descripción
R0	Significa que no se encuentra presente la zona a observar
R1	Hace referencia a una robustez desvanecida o ligera. La corteza es sólo ligeramente redondeada y es frecuentemente visible, sin embargo la elevación es aparente al toque aunque no se han formado crestas ni rugosidades.
R2	Robustez moderada. La superficie cortical es dispar con una elevación en forma de monte que es fácilmente observable, no hay crestas ni rugosidades.
R3	Se trata de una zona de inserción fuerte, donde ya se han formado crestas y rugosidades, frecuentemente puede aparecer una leve depresión entre las crestas.

Fuente: Elaboración propia

Son dos los tipos de lesiones que se pueden observar en los sitios de inserción de tendones y ligamentos (Hawkey y Merbs, 1995). Por una parte, tenemos aquellas lesiones que son visualizadas por medio de un pozo o surco. Son llamadas entesopatías por estrés y su etiología es el resultado de pequeños microtraumatismos dados por los sobre-esfuerzos repetitivos y constantes en las inserciones tendinosas, causando pequeñas rasgaduras musculares en el periostio, lo que provoca una interrupción del abastecimiento de sangre, llegando a provocar, en caso de una interrupción prolongada, una necrosis en el tejido óseo, generando los pozos y surcos característicos de este tipo de entesopatía (Hawkey y Merbs; 1995; Hawkey, 1998 y Medrano, 2001).

El otro tipo de lesión es conocido como entesopatía con exostosis u osteofito, que es el resultado de un macrotrauma, sobre todo en las fracturas violentas en las que se puede incorporar hueso nuevo al tejido muscular, lo que provoca la formación de exostosis o un espolón óseo. No obstante, la formación de estas estructuras no sólo se encuentra asociada a traumatismos, es bien conocido que la aparición de osteofitos tiene íntima relación con el desgaste de las articulaciones, lo que podría ser consecuencia de la edad y a problemas endocrinos o metabólicos.

De la misma forma que el marcador anterior, se propone usar una puntuación de acuerdo al grado de la lesión (ver **tablas 2 y 3**).

### LESIONES DEGENERATIVAS DEL TEJIDO ARTICULAR

Es una condición patológica progresiva, no inflamatoria, crónica, caracterizada por la pérdida de cartilago articular y la subsecuente lesión resultante del directo contacto interóseo dentro de las articulaciones diartrostricas, son producidas en el cartilago a causa del roce del hueso con hueso lo cual causa neoformación al quedar expuesto. Las causas pueden ser físicas (traumatismos, dislocación de cadera congénita), por infección metabólica (raquitismo, ocronosis), vascular (osteocondritis), neurotrofia (neuropatía periférica) o por otras causas osteoarticulares (obesidad), estrés ocupacional, malformaciones congénitas y asimetría en las extremidades (Aufderheide y Rodríguez 1998).

El padecimiento más común de tipo degenerativo es la osteoartritis, que es una enfermedad del cartilago articular, y probablemente representa el producto final de una remodelación de la articulación ausente (Rogers y Wal-

**Tabla 2.** Puntuación y descripción para el registro de entesopatías por estrés (facetas, pocitos o fisuras en el cortex).

Puntuación	Descripción
S1	Lesión de surco ligero o pocito pequeño. Estos surcos pasan el cortex del hueso, dando una apariencia rugosa. Se considera ligero cuando es menor de 1mm.
S2	Lesión de surco moderado con una profundidad mayor a 1mm pero menor a 3mm.
S3	Lesión de surco muy marcado en las cuales se puede observar una profundidad mayor a 3mm y una longitud de 5mm.

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 3.** Puntuación y descripción para el registro de entesopatías por osificación o exostosis (formación de hueso nuevo en el sitio de inserción de ligamentos o tejido muscular)

Puntuación	Descripción
O1	Osificación o exostosis desvanecida la cual tiene forma redondeada y no se extiende más de 2mm de la superficie del hueso.
O2	Exostosis moderada que presenta diversas formas, se extiende más de 2mm pero menos de 5mm.
O3	Exostosis fuerte. La formación de hueso es muy evidente y se extiende más de 5mm.

Fuente: *Elaboración propia*

dron,1995), su prevalencia aumenta con la edad, aunque Lai y Lovell (1992) sugieren que, aunque la osteoartritis es común en personas adultas, su registro en conjunto con algunos otros marcadores de estrés ocupacional podría deberse a algo más que un proceso de envejecimiento.

La degeneración del cartilago articular puede ocurrir por cambios en la proporción de producción y composición química de la matriz del cartilago o por cambios en la estructura del hueso subcondral alterando el contorno articular. En cualquiera de los casos, se puede observar un gran número de pequeñas irregularidades en la superficie del cartilago articular, las cuales gradualmente desarrollan hendiduras y fisuras. Las zonas dañadas ocupan principalmente la porción central de la articulación donde la respuesta al esfuerzo es mayor. Estas superficies presentan gradualmente más irregularidades hasta condensar el cartilago articular (Steinbock, 1976).

De igual forma que en los anteriores indicadores, para su registro se otorga una puntuación según el grado degenerativo de las articulaciones a evaluar (ver [tabla 4](#)).

## LESIONES EN LA COLUMNA VERTEBRAL

Es muy común encontrar lesiones en la columna vertebral y no es sorpresivo si se considera la magnitud de las tensiones y esfuerzos, particularmente relacionados con la postura erguida del ser humano, que se aplican a la columna vertebral durante el trabajo y juego a lo largo de toda la vida. Además, el número de articulaciones vertebrales es elevado, 23 articulaciones discales intervertebrales y 46 articulaciones de las facetas posteriores. El disco intervertebral es también la primera estructura del sistema músculo esquelé-

tico que resulta afectada por las alteraciones degenerativas. Se comprende pues, la incidencia de tales cambios sea mayor en los segmentos lórdóticos de la columna lumbar y cervical, que son más móviles que, en los segmentos cifóticos de la columna torácica, menos móviles. (Salter; 1994).

Existen lesiones que tienen una relación con la carga de objetos pesados sobre la espalda, como son las hernias de Schmorl, vértebras colapsadas y la espondilolistesis (Lai y Lovell, 1992 y Ryckewaert, 1973).

### Hernias o nódulos de Schmorl

Son las lesiones en los cuerpos vertebrales provocadas por el hundimiento de la parte del núcleo pulposo y la fisuración del anillo fibroso intervertebral, lo que predispone la aparición de hernias de la sustancia nuclear a través de dichas fisuras. Se relacionan con las alteraciones degenerativas del envejecimiento, con los traumatismos discales, ya sea por caídas o por esfuerzo al levantar y acarrear objetos pesados (Ryckewaert, 1973). Estas estructuras son identificadas en la superficie superior o inferior de los cuerpos vertebrales, son más comunes en las torácicas inferiores y lumbares. Tienen forma irregular con revestimiento de hueso cortical y pueden encontrarse en cualquier posición del cuerpo de la vértebra dependiendo de la dirección del disco herniado (Rogers y Waldron, 1995).

Con una herniación posterior la lesión puede estar en comunicación con foramen vertebral, lugar donde pasa la medula espinal, por lo que son dolorosas, ya que comportan una distensión de la parte posterior del anillo fibroso, la cual es sensible. Si se trata de una hernia anterolateral, no son dolorosas pero pueden estar asociadas con cifosis y osteofitosis, en ambos casos

**Tabla 4.** Puntuación y descripción para el registro de lesiones degenerativas en articulaciones.

Puntuación	Descripción
0	No hay evidencia de artritis
1	Presencia de porosidad en la superficie articular indicando rompimiento del cartilago articular o eburnación.
2	Presencia de ostefitos ligeros a moderados en los márgenes de la superficie articular
3	Ostefitos moderados en los márgenes de la superficie articular.
4	Ostefitos avanzados en los márgenes de la superficie articular.

Fuente: Elaboración propia



la condición es referida como la enfermedad de Scheuermann, la cual se desarrolla en la adolescencia afectando especialmente a los niños. Al parecer su aparición es favorecida por el transporte de cargas pesadas. (Rogers y Waldron, 1995 y Ryckewaert 1973).

Capasso y colaboradores (1999), reportan que los factores estresantes causantes de los nódulos de Schmorl son la flexión y el doblamiento lateral de la columna vertebral, especialmente por la acción de levantar objetos pesados. Si el nódulo se encuentra localizado en la parte posterior de la placa vertebral, específicamente en las vértebras lumbares, se asocia con esfuerzo físico hecho cuando la columna se flexiona. Mencionan que algunas de las actividades ocupacionales implicadas en la aparición de dichas estructuras son la labranza y la agricultura (Capasso et al. 1999).

### Vértebras colapsadas

Aunque no hay un acuerdo unánime en la definición del grado de deformidad que constituye el aplastamiento vertebral, se puede considerar este diagnóstico cuando existe una reducción del 15% al 20% en la altura del cuerpo de la vértebra. Se puede distinguir varias características de aplastamiento, según el tipo de alteraciones de la forma vertebral: acunamiento vertebral o vértebra en cuña, donde se observa una disminución del borde anterior conservando la altura del borde posterior. Vértebra en pez o bicóncava, en la que se disminuye la altura de la parte central del cuerpo; así mismo, cuando el grado de compresión es grande y uniforme se origina la vértebra en galleta o vértebra plana. El aplastamiento vertebral supone una fractura por compresión del cuerpo de la vértebra sin dañar la parte posterior del mismo (Riancho y González, 2005). Esta lesión se presenta con frecuencia en las últimas vértebras torácicas y en la región lumbar, y se relacionan con la acción de cargar bultos muy pesados (Molleson, 1994).

Este indicador también se registra en cédulas especificando que tipo de lesión es la que se presenta. Se recomienda utilizar algún código para distinguirlas, por ejemplo, un color para cada tipo de lesión.

### Facetas extras

Una faceta es un área de hueso creada por el uso, y que sirve como punto de contacto entre los huesos, es una modificación o accesorio anatómico que aparece cuando existe una fuerte presión entre dos huesos durante una posición por tiempo prolongado. Este tipo de variable ha sido reportada en fémur, tibia, peroné, huesos del tarso y del metacarpo, así como en la articulación sacro-iliaca (Kennedy, 1989; Serrano, 1974; Lai y Lovell, 1992 y Capasso et. al. 1999).

Para su registro, simplemente se indica en la cédula el sitio donde se encuentren.

### Traumatismos y fracturas

Según la Organización Mundial de la Salud lesión se define como: “Toda alteración del equilibrio biopsicosocial”. Por su parte, la definición clínica es: “La alteración funcional orgánica y psíquica consecutiva a factores internos o externos” (Grandini, 2014).

Desde el punto de vista jurídico, lesión es toda alteración anatómica o funcional que una persona cause a otra, mediante el empleo de una fuerza exterior (Vargas, 2014). El artículo 288 del Código Penal, señala que: “Bajo el nombre de lesión se comprende no solamente las heridas, excoriaciones, contusiones, fracturas, luxaciones y quemaduras, sino toda alteración a la salud y cualquier otro daño que deje huella material en el cuerpo humano, si estos efectos son ocasionados por una causa externa” (Grandini, 2014).

De acuerdo a Vargas (2014), las lesiones se pueden clasificar de acuerdo a tres criterios:

1. Anatómico: Es decir, su ubicación en los diferentes segmentos del cuerpo.
2. Agentes que las producen: Como agentes físicos (mecánicos, térmicos, eléctricos), agentes químicos y agentes biológicos.
3. Por las consecuencias: Puede ser cantidad y calidad del daño, distinguiendo las lesiones que no ponen en peligro la vida y las que ponen en peligro la vida. En relación con la calidad del daño, se pueden distinguir a las lesiones que lacran, es decir, aquellas que dejan defecto, señal o cicatriz, y a las lesiones que invalidan, siendo estas las causantes de un debilitamiento funcional o una disfunción.

Por otro lado, desde el punto de vista médico, se define como trauma a la violencia exterior, y como traumatismo al daño resultante en el organismo. En cuanto a las contusiones, estas son traumatismos producidos por cuerpos romos, es decir, objetos que no tienen filo. El mecanismo de acción de estos agentes es la percusión, la presión, la fricción y la tracción. Tales agentes pueden ser órganos naturales, como las manos, pies, dientes y uñas; o bien, pueden ser instrumentos ocasionales de defensa y ataque, como martillos y culatas de armas (Vargas, 2014). En la **tabla 5** se muestra la clasificación de los traumatismos de acuerdo con la fuerza que los produce.

En el caso que nos ocupa, los traumatismos de tipo mecánico son los que nos interesan. Con excepción de los traumatismos por desacceleración, en todos los casos de trauma mecánico el traumatismo es causado por la transferencia de energía de un objeto externo en movimiento hacia los tejidos. El cuerpo absorbe esa energía, ya sea por la elasticidad de sus tejidos blandos, o por la rigidez de su estructura ósea. Cuando la capacidad elástica o de resistencia de los tejidos es rebasada por la intensidad de la fuerza aplicada se produce un traumatismo (Vargas, 2014).

La energía mecánica excesiva puede causar en el cuerpo compresión, tracción, torsión y tensiones tangenciales y de palanca. El daño resultante depende, por una parte, del tipo de trauma mecánico y, por otra, del tipo o la naturaleza del tejido que recibe la energía, así como del tamaño de dicha área (*Idem*).

Conforme la transferencia de energía sea retardada o distribuida sobre un área más grande, menor será la intensidad de la fuerza aplicada

**Tabla 5.** Clasificación de los traumatismos según la fuerza que los produce.

<b>Trauma mecánico</b>	Subcutáneo	Contusiones Hematomas Equimosis Avulsión
	Mixto	Explosiones
	Percutáneo	Por arma blanca Por arma de fuego
<b>Trauma térmico</b>	Por calor	Quemaduras
	Por frío	Heladuras
<b>Trauma eléctrico</b>	Por electricidad industrial	
	Por electricidad atmosférica	

Fuente: Tomado de Vargas (2014)

a los tejidos en la unidad de tiempo. El resultado es similar si el cuerpo se desplaza en la dirección del agente traumatizante (Vargas, 2014, 2012; Grandini, 2014).

Las contusiones se distinguen en dos grandes grupos: simples y complejas. Las primeras son el apergaminamiento de la piel, las excoriaciones, equimosis, derrames y heridas contusas<sup>2</sup> Las contusiones complejas son producidas por la asociación de dos o más mecanismos de contusión simple. Comprenden la mordedura, el aplastamiento, la caída, la precipitación y las contusiones cefálicas por objeto contundente<sup>3</sup>.

- 2 Apergaminamiento es un traumatismo de aspecto de pergamino, amarillento, sin reacción inflamatoria de la piel circundante. Excoriación es una lesión superficial de la piel, producida generalmente por fricción del agente contundente que desprende la epidermis. Derrames, estos pueden ser sanguíneos y linfáticos. Los sanguíneos se dividen a su vez en superficiales y profundos. Herida contusa, también se conoce como herida lacercontusa. Es una interrupción en la continuidad de la piel por la acción de un instrumento contundente. Se produce cuando el agente contundente vence el índice de elasticidad de la piel. Hematoma, se define como un tumor de sangre producto de la rotura de vasos medianos a grandes (Vargas, 2014; Grandini, 2014).
- 3 La mordedura es un traumatismo producido por los dientes. Actúan por presión y, posteriormente por tracción. El aplastamiento es producido por acción convergente de dos agentes contundentes sobre puntos antagónicos de un segmento corporal. En la caída y precipitación, se trata de contusiones ocasionadas por el desplome de la persona. en la caída, al movilizarse la cabeza sobre el suelo se produce la lesión golpe-contragolpe. Las contusiones cefálicas por objetos contundentes se refieren aquellas provocadas por un objeto de dureza considerable y sin puntas o biceles cortantes, estos actúan por percusión y lesiona la piel y el cráneo. Normalmente se observan equimosis o heridas contusas que produce el extremo plano de la herramienta. A veces, hay en la duramadre una hemorragia lineal que dibuja el contorno del agente. Las lesiones del cráneo pueden ser de forma de sacabocados (signo de Strassmann), en forma de telaraña (signo de Carrara). En forma de fisuras escalonadas (signo de Hofmann) (Vargas, 2014).

El estudio de los traumatismos en series óseas permite deducir algunos aspectos del comportamiento humano, lo que está directamente relacionado con la cotidianidad; además, las heridas o lesiones en una población pueden reflejar varios factores acerca del modo de vida de los actores. De esta manera el área y las características morfológicas de las lesiones brindan datos sobre un posible comportamiento violento o bien lesiones accidentales derivadas de una actividad ocupacional, entre otras.

Las heridas no accidentales han mostrado la evidencia de armas y de sus marcas distintivas en el esqueleto. El comportamiento agresivo y las huellas que dejan sobre el esqueleto pueden brindar información sobre modos de vida, situaciones adversas, competencia de recursos, encuentros intergrupales y/o desigualdad y complejidad social, entre otros. El tipo de violencia ejercida sobre el individuo refleja la relación con ciertos patrones culturales de comportamiento agresivo. Las lesiones sobre el cráneo son frecuentes en todo tipo de poblaciones, según Roberts y Manchester (2012), generalmente son causadas por golpes intencionales por lo cual sirven como indicadores de violencia y de comportamiento agresivo, además de considerar la incidencia que se pueda dar por sexo.

Brothwell (1987), argumenta que desde que surgió el hombre éste parece haber recurrido siempre a la violencia, hecho que se pone en manifiesto en las lesiones descubiertas en osamentas de homínidos como *Homo erectus*, *Homo neanderthalensis* y *Homo sapiens arcaico*, es probable que las lesiones fueran producidas por golpes intencionados y no por meros accidentes, ya que estas lesiones son localizadas, algunas sanaron y otras no. Campillo (2001) menciona que las lesiones intencionales suelen ser secundarias a actos agresivos o acciones bélicas, ya sea por arma o no. Jaén y colaboradores (1995), señalan que las áreas más propensas a resaltar signos de violencia son: la región frontal del cráneo, la región facial y mandíbula.

Para reconocer el comportamiento se deben de evaluar las lesiones no mortales, esto se logra gracias al reconocimiento de las lesiones y del proceso de regeneración del hueso. Algunos traumatismos de la bóveda craneal dejan un tipo distintivo de lesión en forma de fractura en depresión. Si el individuo sobrevive, esta depresión será granulosa al interior debido al proceso de regeneración, incluso por la forma de la lesión se puede inferir el arma que ocasiono la herida,

mientras que en la región facial, la fractura más común es sobre la región nasal, lo que puede producir fracturas en los huesos propios de la nariz o sobre las ramas ascendentes de la mandíbula dependiendo de la intensidad del golpe; también se pueden ver fracturas sobre el arco zigomático, lo que ocasiona un hundimiento del hueso cuando se logra la regeneración ósea; y finalmente, en mandíbula, ya sea reabsorción alveolar por pérdida dental o fractura de la rama (Mansilla *et al*, 2013; Jaén, *et al*, 1995; Ubelaker, 2007).

Hay varias categorizaciones de traumatismos de la cabeza, DiMaio y DiMaio (2011) las clasifican en lesiones por impacto y lesiones por aceleración/desaceleración. Las primeras son aquellas causadas cuando un objeto golpea o es golpeado por la cabeza. Estas lesiones son locales y son el resultado del contacto entre la cabeza y el objeto contundente; incluyen excoriaciones, contusiones y heridas contusas del cuero cabelludo, fracturas, hematomas epidurales y hemorragias intracerebrales (Vargas, 2012). Las segundas se deben al movimiento súbito de la cabeza, lo que puede producir una presión y consecuentemente fuerzas de ruptura-tensión sobre el cerebro. Las lesiones resultantes son de dos tipos:

1. Hematomas subdurales, los cuales consisten en la acumulación de sangre entre la duramadre, que es la membrana que cubre al cerebro y la aracnoides, una de las capas de las meninges. Dichas lesiones pueden aumentar la presión intracraneal, compresión y daño en el tejido cerebral.
2. Lesión axonal difusa, siendo una de las lesiones más frecuentes y devastadoras ya que el daño es en una zona amplia de la materia blanca, y es una de las principales causas de pérdida de consciencia y estado vegetativo después de traumatismos cerebrales. Dichas lesiones se encuentran asociadas a fuertes sacudidas de la cabeza, como pueden ocurrir en accidentes de automóvil (Vargas, 2012; Sanders y McKenna, 2001).

Este indicador también se registra en la cédula correspondiente, especificando el sitio de ubicación y el tipo de lesión.

## ESTUDIO DE CASO

Análisis del patrón de marcas de actividad ocupacional halladas en el esqueleto #2 del panteón San Nicolás Tolentino de la Ciudad de México.

### La muestra

Durante marzo del año 2000, a través de una solicitud hecha a las autoridades de la Delegación Política Iztapalapa; así como a los representantes legales del Panteón Civil San Nicolás Tolentino y de acuerdo con el Reglamento de Cementerios del D.F., se llevó a cabo por parte de los alumnos del Proyecto de Investigación Formativa “*El Campo de la Arqueología y la Antropología Forense en México: Una Propuesta Interdisciplinaria*”, coordinado por el profesor Jorge Arturo Talavera González, la selección y exhumación de los primeros 12 individuos que conforman la colección ósea San Nicolás Tolentino. Dentro de estos primeros 12 esqueletos recuperados, se encontró el individuo marcado como entierro número dos, que, según su acta de defunción, presenta los siguientes datos:

- Nombre: se omite
- Sexo: masculino
- Fecha de nacimiento: 31 de octubre de 1930
- Fecha de defunción: 7 de junio de 1992
- Edad: 62 años
- Ocupación: machetero en la central de abasto de D.F.
- Causa de muerte: infarto al miocardio, hidrocefalia derivada de neurocisticercosis y cirrosis hepática.

El interés por trabajar con este esqueleto surgió a partir de las características que se observaron a primera vista durante el proceso de limpieza y del conocimiento de la ocupación que el individuo desarrollaba en vida, ya que el oficio de machetero es un trabajo que requiere de mucha fuerza y destreza para su desarrollo, aspectos que podrían verse reflejados en el esqueleto de quienes desarrollaron tales actividades. [figura 1](#).

### Metodología

Se contó con un esqueleto procedente de la Colección San Nicolás Tolentino, del que se sabe, entre otras cosas, su actividad ocupacional; por lo tanto, se utilizó la técnica de registro plantea-

da por autores referidos anteriormente; con la variante que en el presente estudio no se averiguaría la posible actividad ocupacional que realizaba el sujeto, recordemos que ese dato ya se tiene. En este caso, se construyó un patrón de marcas de estrés músculo – esquelético, el cual se asoció a dicha actividad ocupacional, de machetero. Para poder lograr el objetivo, fue crucial conocer las rutinas de movimientos que realizan las personas que se dedican a ese trabajo, lo que ayudó a definir los grupos musculares que permiten tales movimientos; para ello fue necesario indagar las funciones de los cargadores actuales en su lugar de trabajo para identificar los movimientos más repetitivos que ellos realizan. Dicha información se obtuvo gracias al registro en video, la cual se grabó en las instalaciones de la Central de Abasto del municipio de Ecatepec, Estado de México. Una vez cumplida tal actividad, se señalaron los músculos principales que permiten la realización de cada movimiento identificado, resaltando sus sitios de origen y de inserción; así como sus funciones. Los resultados obtenidos se muestran en la [tabla 6](#).

Hecho esto, en el esqueleto número dos de la Colección San Nicolás Tolentino, se evaluaron todos los marcadores propios en la investigación de marcas de estrés ocupacional, y se registraron en cédulas gráficas diseñadas por Buikstra y Ubelaker (1994), modificándolas para el objetivo del presente estudio. El objetivo fue contrastar los resultados del análisis de los movimientos de actuales cargadores y las posibles alteraciones de dicho esqueleto, con la finalidad de conocer si existía alguna relación entre dichas observaciones.

Los marcadores utilizados fueron:

1. Entesopatías y sindesmosis. Para poder registrar la existencia de entesopatías en el individuo número dos de la Colección San Nicolás Tolentino, se tomaron en cuenta los sitios de inserción de los principales músculos que permiten la realización de los movimientos listados en la [tabla 7](#), evaluando las variables de las lesiones de surco o pocito y lesiones como la formación de exostosis o espolones. Las lesiones de estrés (facetos, pocitos o fisuras en el córtex) se registraron en las cédulas gráficas con color azul, por otro lado, las lesiones de osificación o exostosis (formación de hueso nuevo en el sitio de inserción de ligamentos o tejido muscular), se señalaron con color rojo en las cédulas gráficas, y



**Figura 1.** Esqueleto número dos de la colección San Nicolás Tolentino. Vista general.

Fuente: Gerardo Cordero.

también se le asignó un grado siguiendo el modelo de Hawkey y Merbs (1995). En cuanto a las sindesmopatías se tomaron en cuenta las articulaciones llamadas diartrosis, evaluando las mismas variables.

2. Robustez de los sitios de inserción muscular seleccionados. Se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Hawkey y Merbs (1995). Para esto se utilizó el color amarillo
3. Lesiones degenerativas del tejido articular. Este marcador se evaluó en las articulaciones del hombro, codo muñeca cadera, rodilla y vértebras, siguiendo la propuesta planteada por Walker y Hollimon (1989) y se registró en color naranja en las cédulas gráficas correspondientes. Cabe mencionar, que, aunque en algunos otros estudios se excluyen a esqueletos de personas mayores a 45 años en la evaluación de este marcador por ser, en muchos casos factor propio de la edad, debe recordarse que la actividad física interviene en gran medida en este tipo de lesiones por lo que en el presente se analizará a un individuo de 65 años a la muerte el cual desarrollaba una actividad ocupacional que requiere de mucha fuerza y desgaste físico.
4. Lesiones en la columna. Este indicador también se registró en las cédulas correspondientes, especificando que tipo de lesión es la que se presenta (nódulos de schmorl y vértebras colapsadas), se utilizó el color verde.
5. Facetas extras. Se indicó en las cédulas el sitio del hueso en donde se encuentren tales facetas.
6. Traumatismos y fracturas. Se registraron con color morado en las cédulas correspondientes.

## RESULTADOS

El entierro número dos es un esqueleto casi completo, en general se encuentra en buen estado de conservación, presenta en algunos huesos manchas de color café oscuro, debidas al proceso tafonómico ocasionado por el ataúd en el que se encontraba. De acuerdo con el acta de defunción, el esqueleto corresponde a un individuo del sexo masculino de 62 años al momento de la muerte, el día 7 de junio de 1992 a causa de un infarto al miocardio, hidrocefalia derivada de neurocisticercosis y cirrosis hepática. El indi-

viduo tenía una estatura de 1.65 m (estimada a partir de la propuesta de Del Angel y Cisneros 2004).

A partir del registro de los indicadores de estrés músculo esquelético observados en los huesos que conforman el entierro número 2, se pudo constatar que éstos están constituidos por entesopatías, sindesmopatías, nódulos de Schmorl y osteoartritis en las articulaciones de diartroda. En la **tabla 6** se pueden consultar los resultados obtenidos.

Las sindesmopatías se encuentran presentes en algunos sitios de inserción de ligamentos, sobre todo en ambas clavículas, esternón, iliaco derecho y en ambos fémures, manifestándose en diversos grados (**figura 2 y 3**).

En cuanto a las entesopatías, estas se encontraron con mayor claridad en las extremidades superiores, donde es posible observar fuertes inserciones musculares, acompañadas en ocasiones de lesiones de exostosis, también en diversos grados (**figura 4**). No obstante, se pudieron encontrar casos de entesopatías en las rotulas y en los calcaneos (**figura 5 y 6**).

Por otra parte, se hallaron Nódulos de Schmorl en varias vértebras dorsales, sobre todo en las inferiores (**figura 7**). Además, se pudo observar en algunas ocasiones aplastamiento vertebral en cervicales y lumbares.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La actividad ocupacional de cargador, machetero o estibador se registra en la historia mexicana desde tiempos prehispánicos. En aquel tiempo las personas que desempeñaban tal oficio eran llamados *tlamemes* o *tlamamas*; y más tarde, en la época de la colonia les llamaban “gana panes”. Hoy en día, los actuales herederos de aquellas raíces laboran en las centrales de abasto popular del interior de la república, en algunos mercados locales de varias poblaciones del país, y en cualquier lado donde halla que acomodar y transportar cualquier tipo de mercancías. A lo largo de su historia, los macheteros se han caracterizado por poseer habilidades para cargar y trasladar grandes pesos, utilizando, en la mayoría de las ocasiones, su propio cuerpo como herramienta de trabajo. El desarrollo de tal actividad ocupacional implica grandes esfuerzos de la musculatura y del esqueleto de quien la realiza, sometiendo al cuerpo al sobre uso de algunas partes corporales y su musculatura.

**Tabla 6.** Resumen de las principales marcas musculoesqueléticas encontradas en el esqueleto N° 2 de la colección osteológica San Nicolás Tolentino, de acuerdo con su región anatómica.

Región anatómica	Sitios de inserción muscular evaluados	Sitios de inserción de ligamentos evaluados. Articulación evaluada	Lesiones encontradas lado derecho	Lesiones encontradas lado izq.
<b>En cráneo</b>	Esternocleidomastoideo		Fr. Ee tipo 3.	Rd. Ee tipo 1
	Suboccipitales		Rd. Ee tipo 2.	Rd. Ee tipo 2
<b>En clavícula</b>		En sus dos puntos de articulación	O tipo 1	O tipo 1
	Esternocleidomastoideo		Rd	Rd. Ee tipo 2
	Trapezio		Rm. Ee tipo 2	Rm. Ee tipo 2
		Ligamento costoclavicular	Fr. Sp tipo 3. Se tipo 1	Fr. Sp tipo 3. Se tipo 1
<b>En omóplato</b>	Trapezio		Rm. Ee tipo 1	Fr. Ee tipo 1
	Serrato mayor		Rm. Ee tipo1	Rm. Ee tipo1
	Angular del omóplato		Rd. Ee tipo1	Rd. Ee tipo1
<b>En esternón</b>		Cartílagos costales	Se tipo 3	Se tipo 3
<b>En húmero</b>	Pectoral mayor	Articulación del hombro	Fr. Ee tipo 2. O tipo 1	Fr. Ee tipo 2. O tipo 1
	Deltoides		Fr. Ee tipo 1	Rm. Ee tipo 1
	Redondo mayor		Rm. Ee tipo1	Rm. Ep tipo 1
	Redondo menor		Fr. Ep tipo 2	Rd
	Dorsal ancho		Rm. Ee tipo 1	Rm. Ee tipo 1
	Infraespinoso		Fr. Ep tipo1	Rm
	Subescapular		Fr. Ee tipo 1	Fr
<b>En cúbito</b>	Braquial anterior		Fr. Ee tipo 1. Ep tipo2	Rm. Ep tipo 1
	Tríceps braquial		Fr. Ee tipo 3	Fr. Ee tipo 2
	Ancóneo		Rm. Ee tipo 1	Rm. Ee tipo 1
		Ligamento de Weitbrecht	Fr. Sp tipo 2 y Se. tipo 1	Fr. Sp tipo 1
		Ligamento externo haz medio y posterior	Se. tipo 2	Se. tipo1
		Ligamento radio cubital	Se. tipo 1	Se. tipo 2
		Margen de la cavidad sigmoidea mayor	O. tipo 2	O. tipo 1
<b>En radio</b>	Bíceps braquial		Fr. Ep. tipo 1. Ee. tipo 3	Rm. Ee. tipo 2
	Pronador redondo		Fr. Ee. tipo 2	Fr. Ee. tipo 2
	Pronador cuadrado		Rd.	Rd.
	Supinador corto		Rd.	Rd.
		Ligamento radio cubital	Se. tipo 3	Se. tipo 2

<b>En iliaco</b>	Recto del abdomen		Rd.	No se encuentra el hueso
	Oblicuo mayor		Rm. Ee. tipo 1	
	Oblicuo menor		Fr. Ee. tipo 2	
		Acetábulo	O. tipo 2	
		Haz superior del lig. sacro iliaco post.	Fr. Se. tipo 3	
		Ligamento iliolumbar	Fr. Se. tipo 3	
		Ligamento sacrociático mayor	Fr. Se. tipo 3	
<b>En fémur</b>	Psoas mayor		Fr. Ee. tipo 2	Rm. Ee. tipo 1
	Psoas menor		Fr. Ee. tipo 2	Rm. Ee. tipo 1
	Aductor mayor		Fr. Ee. tipo 2	Fr. Ee. tipo 2
	Aductor menor		Fr. Ee. tipo 2	Fr. Ee. tipo 2
	Glúteo mayor		Fr. Ee. tipo 3	Fr. Ee. tipo 2
	Aductor mediano		Fr. Ee. tipo 2	Fr. Ee. tipo 2
		Ligamento redondo	Fr. Se. tipo 2	Fr. Se. tipo 1
		Ligamento iliopretrocantérico	Fr. Se. tipo 2	Fr. Se. tipo 1
		Ligamento iliopretrocantéreo	Fr. Se. tipo 2	Fr. Se. tipo 1
<b>En rótula</b>	Tendón del cuádriceps femoral		Fr. Ee. tipo 3	Fr. Ee. tipo 3
<b>En tibia</b>	Recto anterior del cuádriceps		Rd.	Rd.
	Semitendinoso		Rd.	Rd.
	Semimembranoso		Rd.	Rd.
	Cuádriceps femoral		Rd.	Rd.
	Tendón rotuliano		Fr. Ee. tipo 1	Fr. Ee. tipo 1
		Lig. anterior articulación tibioperonea	Fr. Se. tipo 1	Fr. Se. tipo 1
<b>En peroné</b>	Bíceps femoral de porción larga		Rm.	Rm.
	Peroneo lateral largo		Fr.	Fr.
	Flexor largo del primer orjejo		Fr. Ee. tipo 1	Fr.
<b>En calcáneo</b>	Gastrocnemio		Fr. Ee. tipo 2	Rd. Ee. tipo 1
	Soleo		Fr. Ee. tipo 2	Rd. Ee. tipo 1
	Aductor del dedo grueso		Fr. Ee. tipo 3	Fr. Ee. tipo 3

Nomenclatura: Fr=fuerte robustez en el sitio de inserción; Rm=robustez moderada; Rd=robustez desvanecida; Ee=entesopatía de exostosis; Ep=entesopatía de pozo; Se=sindesmopatía de exostosis; Sp=sindesmopatía de pozo; O=osteoartritis

Fuente: *Elaboración prop*

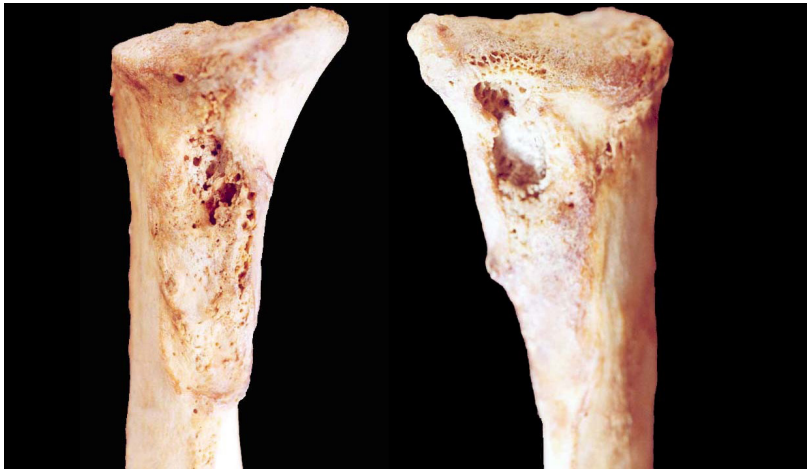


**Tabla 7.** Resumen de algunos movimientos observados, músculos principales que permiten tal movimiento, su origen y sus sitios de inserción.

Movimiento observado	Músculos principales	Origen	Sitios de inserción
<b>Inclinación lateral, rotación y flexión del cuello.</b>	Esternocleidomastoideo	Manubrio del esternón	Apófisis mastoideas y línea curva superior del occipital y tercio medio de la clavícula
	Músculos suboccipitales (recto anterior menor, lateral, oblicuo menor y mayor, recto posterior)	Atlas	Hueso occipital por delante del cóndilo occipital
<b>Flexión del tronco</b>	Recto del abdomen	Apófisis xifoides del esternón	Borde superior del pubis
	Psoas mayor y menor	Apófisis transversas y cuerpos de la i-iv vértebra lumbar	Trocánter menor (fémur)
	Aductor menor	Sínfisis púbica e isquion	Línea áspera (fémur)
<b>Extensión del tronco</b>	Dorsal largo	Sacroespinal	Apófisis transversas de todas las dorsales
	Glúteo mayor	Cresta ilíaca	Vía iliotibial de la fascia lata y la tuberosidad glútea del fémur
	Aductor mayor	Sínfisis púbica e isquión	Línea áspera
<b>Rotación del tronco</b>	Oblicuo mayor	Cara externa de la vi a la xii costilla	Cresta ilíaca, borde anteroinferior del ilion
	Oblicuo menor	Zona intermedia de los dos tercios anteriores de la cresta ilíaca y los dos tercios externos del arco crural	Borde inferior de las tres últimas costillas
<b>Elevación de la cintura escapulohumeral</b>	trapecio	Línea curva superior del occipital, ligamento cervical posterior y supraespinoso (hasta la xi vértebra dorsal)	Tercio externo de la clavícula y borde superior de la espina de la escápula
	Ligamento costoclavicular	Cartílago y extremo distal de la primera costilla	Extremo esternal de la clavícula en la cara posterior
<b>Descenso de la cintura escapulohumeral</b>	Pectoral mayor	2/3 medios de la clavícula, cara anterior del esternón y 1-7 cartílago costal	Labio lateral de la corredera bicipital del húmero
	Subclavio	Cara interior de la clavícula	1 costilla
	Serrato mayor	Cara externa de la i-ix costillas	Borde vertebral de la escápula
	trapecio	Línea curva superior del occipital, ligamento cervical posterior y supraespinoso (hasta la xi vértebra dorsal)	Tercio externo de la clavícula y borde superior de la espina de la escápula
	Ligamento costoclavicular	Cartílago y extremo distal de la primera costilla	Extremo esternal de la clavícula en la cara posterior
	Subescapular	Cara anterior del omóplato en la fosa Subescapular	Troquin del húmero (tubérculo menor)

<b>Flexión del brazo sobre el antebrazo</b>	Bíceps braquial	Apófisis coracoides de la escápula (porción corta) y tuberosidad supraglenoidea	Tuberosidad bicipital del radio y aponeurosis bicipital
	Braquial anterior	Cara anterior, media y lateral del húmero, en su mitad inferior	Apófisis coronoides del cúbito
<b>Extensión del brazo sobre el antebrazo</b>	Tríceps braquial	Tuberosidad subglenoidea de la escápula (porción larga), cara posterior del húmero por encima del canal radial (vasto externo)	Cara posterior del olécranon (cúbito)
	Ancóneo	Cara posterior del epicóndilo	Zona proximal del borde posterior del cúbito
<b>Flexión de las piernas</b>	semitendinoso	Tuberosidad isquiática	Cara medial de la tibia
	Semi membranoso	Tuberosidad isquiática	Cara posterior del cóndilo tibial interno
	Bíceps femoral o crural	La porción larga nace en la tuberosidad isquiática y la corta en la mitad de la línea áspera dl fémur	Cabeza del peroné
<b>Extensión de las piernas</b>	Cuadríceps femoral, recto anterior, vasto interno, vasto externo, crural	El recto anterior se origina en la espina iliaca antero inferior, el vasto interno y externo, en la línea áspera, y el crural en el tercio proximal anterior del fémur	Tuberosidad anterior de la tibia promedio del tendón común y del tendón rotuliano

Fuente: Fucci. Sergio, 1995



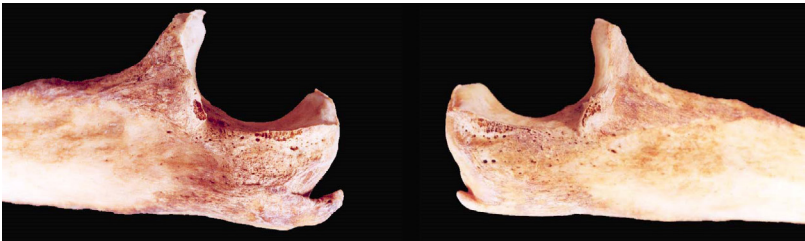
**Figura 2.** Sindesmotopatía en el sitio de inserción del ligamento costoclavicular. Clavícula derecha e izquierda respectivamente.

Fuente: Gerardo Valenzuela J.



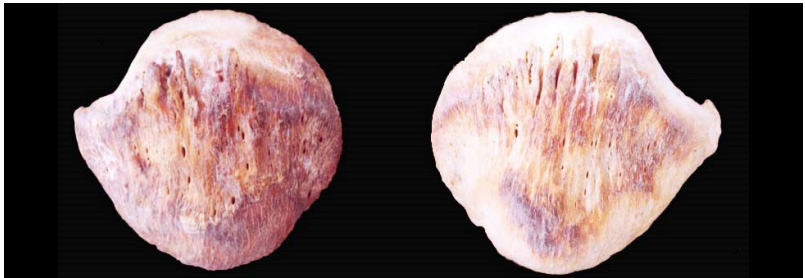
**Figura 3.** Iliaco izquierdo fusionado con el sacro.

Fuente: Gerardo Cordero.



**Figura 4.** Entesopatía de fuerte exostosis en el sitio de inserción del músculo tríceps braquial en ambos cubitos

Fuente: Gerardo Valenzuela J.



**Figura 5.** Rotulas derecha e izquierda con entesopatía de exostosis en el sitio de inserción del tendón del cuádriceps femoral.

Fuente: Gerardo Valenzuela J.



**Figura 6.** Calcáneo derecho e izquierdo respectivamente. En ambos se aprecia una excrecencia ósea llamada entesopatía plantar

Fuente: Gerardo Valenzuela J.



**Figura 7.** Vértebras T8 y T10. Dos ejemplos de Nódulos de Schmorl.

Fuente: Gerardo Valenzuela J.

Este ejercicio excesivo tiene repercusiones en el cuerpo y puede verse plasmado en los resultados obtenidos en el estudio del individuo número dos de la Colección Osteológica San Nicolás Tolentino, el cual, según los datos métricos, era un sujeto con una estatura promedio de 1.65 m., con neurocráneo de dimensiones redondeadas y de cara alta, alargada con nariz estrecha (leptorrino), en el que se pueden observar fuertes y moderadas inserciones musculares, así como entesopatías y sindesmopatías de surco y de exostosis, sobre todo en las extremidades superiores, cintura escapular y columna vertebral, en donde además se registraron otras lesiones, como son los nódulos de Schmorl y aplastamiento del cuerpo vertebral, lo que refleja un trabajo intenso desde edades muy tempranas.

Los patrones hallados se encuentran relacionados con la carga de objetos pesados sobre todo en los hombros y en la espalda, observándose a través de las fuertes inserciones musculares en el cráneo, clavículas y esternón; acompañadas de nódulos de Schmorl en las últimas vértebras torácicas y primeras lumbares, así como de aplastamiento del cuerpo vertebral y presencia de osteofitos moderados y marcados.

Además, se encontró que las extremidades superiores presentan también fuertes inserciones musculares, sobre todo en los humeros, los cuales incluso muestran entesopatías de exostosis. Tales marcas músculo esqueléticas se relacionan con el acarreo de objetos pesados con los brazos, por ejemplo, cuando un individuo carga un costal

desde el piso hacia el hombro, o cuando mueve algún otro objeto de un sitio a otro extendiendo y flexionando los brazos. Cabe mencionar que la extremidad superior y cintura escapular del lado derecho presentaron inserciones musculares y alteraciones mucho más evidentes que en el lado izquierdo. Esta información hace pensar que en vida el individuo utilizaba con mayor frecuencia e intensidad su lado derecho. Dicha idea se encuentra reforzada por algunos otros marcadores como son: la columna vertebral presenta una inclinación hacia el lado izquierdo, tal vez esto sea ocasionado, entre otras cosas, a la inclinación lateral del tronco que hacen los trabajadores cuando cargan un bulto sobre su hombro derecho, esto se pudo comprobar con las observaciones hechas en la central de abasto.

En las extremidades inferiores, también se encuentra diferencias, por ejemplo, en el fémur derecho se pueden identificar inserciones musculares más marcadas que en el izquierdo, presentándose el mismo caso en tibias y en los huesos del pie.

Otro de los patrones encontrados se relaciona con el hecho de permanecer tiempo prolongado en cuclillas durante la realización de ciertas actividades, aunque en la bibliografía se reporta este patrón con facetas extras en fémur, rotulas y tibias, en este caso sólo se presentan facetas en ambas rótulas.

Por último, las excrecencias óseas en los calcáneos se encuentran íntimamente relacionadas con la acción de caminar largos trechos de difícil acceso, y aunque no son largos los trechos que caminan los macheteros, muchas veces si son de difícil acceso, además hay que tomar en cuenta que todo el tiempo trasladan pesadas mercancías de un sitio a otro, lo que contribuiría a la aparición de los espolones encontrados. No obstante, de acuerdo con información de Dutour 1986, Tortora y Anagnostakos 1993, se tiene que tomar en cuenta que hay enfermedades, como la diabetes o la obesidad, que contribuyen a la aparición de tales lesiones.

En lo que se refiere a las patologías encontradas, como la osteoartritis, se puede decir que es ligera, y podría ser consecuencia de la edad, pero conociendo la intensa actividad que estas personas realizan, las articulaciones deben sufrir una constante "fricción", lo que contribuiría a la aparición de esta porosidad en los huesos (Aufderheide y Rodríguez 1998, Lai y Lovell 1992). Por otra parte, las secuelas de espongio hiperostosis y cribra orbitalia, probablemente sean debidas a una anemia por deficiencia de hierro, relacionada

con un proceso de parasitosis padecido durante la infancia (Stuart-Macadam; 1998, Schultz, 2001). Como se mencionó anteriormente, el individuo padeció de hidrocefalia derivada de una neurocisticercosis, esto es debido a la ingestión de huevecillos de las larvas *Taenia Solium*, las cuales afectan sobre todo al hombre y al cerdo. De acuerdo a la bibliografía consultada, es probable que el individuo padeciera de convulsiones a consecuencia de la enfermedad, la teoría se sustenta a partir de la perforación quirúrgica y el acompañamiento de una Válvula de *Pudens* que se hallaron en el cráneo del esqueleto en cuestión; señalando una cirugía descompresiva, de derivación del líquido cefalorraquídeo, y/o de extirpación de los parásitos (Aluja y Escobar 1990).

Es de pensarse, que con el padecimiento de la hidrocefalia y de la osteoartritis, el individuo se encontraba imposibilitado para seguir trabajando como machetero, por lo tanto, el sujeto debió haber dejado el oficio un tiempo considerable antes de morir. No podemos afirmar tal patología tenga una relación directa con la actividad ocupacional del individuo, pero si se puede mencionar que, durante los recorridos realizados en la central de abasto, se pudo constatar que la mayoría de los trabajadores frecuentemente consumen carne de puerco, causante en gran medida de cisticercosis.

La información etnográfica y osteológica revela que el individuo en cuestión pertenecía a una clase económica baja, ya que, por lo general, las personas dedicadas a actividades ocupacionales de este estilo provienen de las provincias del interior de la república y en su mayoría carecen de estudios, por lo tanto, el laborar en un mercado o central de abastos como machetero es una alternativa, pues el oficio no requiere de preparación académica, sólo habilidad y fuerza.

Por otra parte, no se encontraron suficientes traumatismos, únicamente se identificaron en el cráneo, por lo que no se considera relativo a la actividad ocupacional de los cargadores.

Es oportuno aclarar que el objetivo principal de esta investigación, no es caracterizar a todas las personas dedicadas a la actividad ocupacional de cargadores, macheteros o estibadores, si no de establecer un patrón de marcas de estrés musculoesqueléticas en un esqueleto de un individuo que en vida se dedicó a tal actividad o alguna otra semejante, esperando que la información aquí obtenida contribuya a la obtención del mayor número de datos particulares que permitan la importante tarea de la identificación forense.

## REFERENCIAS CITADAS

- Adrian M. y Cooper J. (1995). *Biomechanics of human movement*. USA: Brown and Benchmark.
- Alfaro, M. (2002). *Acercamiento a la vida cotidiana y actividades femeninas de un sector de la población colonial. Análisis de patrones de actividad*. México: Tesis de Licenciatura en Antropología Física. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Aufderheide, A. (1998). *The Cambridge encyclopedia of human paleopathology*. Inglaterra: Cambridge University
- Aluja, A., Escobar A., Escobedo F., Flisser A., Lalette J. P., Larralde C., Madrazo I., Velázquez V., y Willms K. (1990). *Cisticercosis. Una recopilación actualizada de los conocimientos básicos para el manejo y control de la cisticercosis causada por Taenia Solium*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Bostrom M., Bosquey J, Kaufman & Einhorn A. (2000). Form and function of bone. En *Orthopaedic Basic Science, Biology and Biomechanics of the Musculoskeletal System*. (331-332). USA: American Academy of Orthopaedic Surgeons.
- Brothwell, D. (1987) *Desenterrando huesos*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Buikstra, J. y Ubelaker D. (1994) *Standards. for data collection from human skeletal remains*. U.S.A: Arkansas Archaeological survey research Series.
- Campillo, D. (2001) *Introducción a la paleopatología*. España: Ediciones Bellaterra.
- Capasso, L., Kennedy, A. y Wilczak C. (1999) *Atlas of occupational markers on human remains*. Italia: Edigrafital, S. P. A.
- Alves C. y Henderson C. (2010). Enthesopathy formation in the humerus: data from know age at death and know occupation skeletal collection. *American Journal of Physical Anthropology*, 141, 550 - 560.
- Chapman, M. (2000). *Operative orthopaedics*. USA: Lippicot Company
- Cohen N. y Armelagos J. (1984). *Paleopathology at the origins of agriculture*. USA: Academic Press.
- Del Ángel, A. y Cisneros H. (2004). Technical note: modification of regression equations used to estimate stature in mesoamerican skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology*. 7, 3 - 9.
- DeLara G., Alvarez A. y Galarza G. (2001). *Anatomía humana*. México: Universidad Autónoma de México.
- DiMaio V y DiMaio D. (2001). *Forensic pathology*. USA: CRC Press.
- Dotour O. (1986). Enthesopathies (lesions of muscular insertions) as indicators of Neolithic Saharan populations. *American Journal of Physical Anthropology*. Vol. 71. 221-224.
- Espinosa M (1997). *Biomecánica: análisis del movimiento del cuerpo humano*. *Antropología Física Latinoamericana*. N° 1. 63 -78.
- Fucci, M. y Fornasari V. (1995) *Biomecánica del aparato locomotor aplicada al acondicionamiento muscular*. España: Mosby/Doyma libros.
- Grandini J. (2014). *Traumatología forense*. En *Medicina forense* (51 - 84). México: Manual Moderno.
- Haberland, M., Schilling A., Johannes R. y Amling M. (2002). Brain and bone: central regulation of bone mass: A new paradigm in skeletal biology. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. Vol. 83. 1871-1876
- Hawkey D. y Merbs C. (1995). Activity-induced Musculoskeletal Stress Markers (MSM) and Subsistence Strategy Changes among Ancient Hudson Bay Eskimos. *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 5. 324-338.
- Hawkey D. (1998). Disability, Compassion and the Skeletal Record: Using Musculoskeletal Stress Markers (MSM) to Construct an Osteobiography from Early New Mexico. *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 8. 326-340.
- Jaén, T., Bautista J. y Hernández P. (1995). Algunos ejemplos de traumatismos craneofaciales. En *Estudios de Antropología Biológica*. Vol. 5. (51-63). México: UNAM, IIA, INAH, AMAB.
- Kennedy, K. (1989). Skeletal markers of occupational stress. En *Reconstruction of Life From the Skeleton*. (129-160).

- USA: Willey Liss, Inc.
- \_\_\_\_\_ (1998). Markers of occupational stress: Conspectus and Prognosis of Research. *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 8. 305-310.
- Komar D. & Buikstra J. (2008). *Forensic anthropology. Contemporary theory and practice*. USA: Oxford University Press.
- Lai P. y Lovell N. (1992). Skeletal markers of occupational stress in the fur trade: a case study from Hudson's Bay Company fur trade post. *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 2. 221 - 234.
- Mansilla, J., Pijoan C. y Valenzuela G. (2013). Análisis de huellas de comportamiento agresivo en tres muestras óseas. En *Miradas plurales al fenómeno humano*. (119 - 138). Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- Angelica M. (2003). Entesopatías: un indicador de la actividad ocupacional en restos óseos. Observaciones en materiales prehispánicos de México. En *Estudios de Antropología Biológica* Vol. 11. (747 - 760). México: UNAM, IIA, INAH, AMAB.
- Molleson T. (1989) Seed preparation in the Mesolithic: the osteological evidence. *Antiquity*. Vol 63. 356 - 362
- Riancho J. y González J. (2005). Fractura vertebral: Expresión clínica y diagnóstico diferencial. En *La fractura vertebral en la práctica clínica*. Vol. 12 (7 - 15). España: Monografía del Fondo Editorial de FHOEMO.
- Roberts, Ch. y Manchester K. (2012) *The Archaeology of Disease*. New York, USA. Cornell University Press.
- Rogers, J. y Waldron T. (1995). *A field guide to joint disease in archaeology*. Inglaterra. Wiley.
- Ryckewaert A. (1973). Patología vertebral. *Patología médica* Vol 8. (70-92). España: Editorial ESPAXS.
- Salter R. 1994 *Trastornos y lesiones del sistema músculo esquelético*. México: Salvat Editores, S.A.
- Sanders, M. y McKenna, K. (2001). Head face and neck trauma. (1146-1175). En *Mosby's Paramedic Textbook*, USA. ELSEVIER
- Serrano, C. (1974). La faceta supernumeraria inferior de la tibia en restos prehispánicos de México. En *Anales de Antropología*. Vol. XI. (337-355). México. Instituto de Investigaciones Antropológicas. UNAM
- Schultz, M. (2001). Paleohistopathology of Bone: A new approach to the study of ancient diseases. *Yearbook of Physical Anthropology*. Vol 44. (106-147).
- Steinbock, T. (1976). *Paleopathological diagnosis and interpretation. Bone diseases in ancient human populations*. Springfield, Illinois. U.S.A. Charles C. Thomas.
- Stirland, A. (1998). Diagnosis of occupationally related paleopathology: ¿can it be done? En *Human Paleopathology. Current Syntheses and Future Options*. (40-47). USA. Smithsonian Institution Press.
- \_\_\_\_\_ (1993). Asymmetry and activity-related Change in the Mael Humerus. *International Journal of Osteoarchaeology*. Vol. 3. (103-113).
- Stuart - Macadam, P. (1998). Porotic hyperostosis: Changing interpretations. En *Human paleopathology. Current syntheses and future options*. (36-39). USA. Smithsonian Institution Press.
- Testut L. y Latarjet A. (1967) *Tratado de Anatomía Humana*. Tomo I. México: Salvat, S.A.
- Tortora, G. y Anagnostakos N. 1993 *Principios de Anatomía y Fisiología*. México: Harla Editores.
- Ubelaker, D. (2007) *Enterramientos humanos, excavación, análisis e interpretación*. España: Sociedad de ciencias ARANZADI.
- Vargas E. (2014) *Medicina Legal*. México: Editorial Trillas.
- \_\_\_\_\_ (2012) *Traumatología forense*. México: Editorial Trillas.
- Walker, L. y Hollimon E. (1989) Changes in Osteoarthritis Associated with the Development of a Maritime Ecology Among Southern California Indians. *International Journal of Anthropology*. Vol 4. (171-183).
- Wilczak C. y Kennedy K. (1998). Mostly MOS: Technical Aspects of Identification of Skeletal Markers of Occupational Stress. *Forensic Osteology. Advances in the Identification of Human Remains*. Springfield. U.S.A. (461-489).





# S3

## Sección 3: Perfil individualizante

### Restos humanos

- 13.** Traumatismos Óseos por Impacto de  
Proyectil de Arma de Fuego

244

- 14.** Osteopatología Forense

267

### Individuos vivos

- 15.** Introducción a la Biometría Forense

287

- 16.** Situación Actual y Nuevos Retos en  
Genética Forense

296

# 14

## Traumatismos Óseos por Impacto de Proyectoil de Arma de Fuego

Aurora Marcela Pérez Flórez<sup>1</sup>

Lourdes Márquez Morfín<sup>2</sup>

Palabras clave: Traumatismos, PAF, antropología forense, balística terminal.

### RESUMEN

Durante las últimas décadas, se han dado grandes avances en la comprensión de los traumatismos óseos por impacto de proyectil de arma de fuego (PAF); estudios experimentales en distintas partes del cuerpo y con diferentes tipos de proyectil, la aplicación de tecnologías y estudios de imagen que simulan las condiciones de un impacto por PAF, la documentación de casos en contextos de guerra y violación de Derechos Humanos, así como, los avances en cirugía en neurocráneo y traumatología, entre otros; han desarrollado un cúmulo de conocimientos que enriquecen hoy la identificación y análisis de este tipo de traumatismos. Este capítulo integra estas investigaciones ofreciendo un panorama interdisciplinar sobre el diagnóstico de los traumatismos óseos por impacto de PAF tanto en cráneo como en el esqueleto poscraneal. A lo largo del capítulo, se exponen las características morfológicas generales usadas para su correcta identificación, así como, las diferentes variantes y lesiones miméticas derivadas de los factores intrínsecos —determinados por la característica del tejido óseo—, extrínsecos —determinados por la mecánica del proyectil— y epidemiológicos —derivados del contexto de las víctimas y los victimarios—, que participan en la modificación de la morfología final en el tejido óseo.

---

1 Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable GIZ. Especialidad de Antropología Forense. Escuela Nacional de Antropología e Historia.  
2 Posgrado de Antropología Física, Escuela Nacional de Antropología e Historia.

## ABSTRACT

During the last decades, great advances have been made in the diagnosis of ballistic trauma: experimental studies in different parts of the body with different types of projectile along with the application of technologies and image studies that simulate the conditions of an impact, the documentation of cases in contexts of war and violation of Human Rights and advances in surgery in neurocranium and traumatology, have developed the knowledge that today enrich the identification and analysis of this type of trauma. This chapter articulates those investigations offering an interdisciplinary view on the diagnosis of ballistic trauma both cranial and post-cranial. Throughout the chapter, we present the general morphological characteristics and the different variants and mimetic lesions derived from the intrinsic (characteristic of the bone tissue), extrinsic (projectile mechanics) and epidemiological (context of the victims and perpetrators) factors that modify the final morphology.

## INTRODUCCIÓN

La velocidad importa. Un traumatismo por impacto de proyectil de arma de fuego (en adelante PAF) en hueso, se distingue de otros tipos de trauma, contundente o cortante, por la resistencia que el tejido óseo presenta ante un objeto que se mueve a gran velocidad y que trasfiere una gran energía cinética (Symes et al., 2012). Dado su comportamiento viscoelástico<sup>3</sup>, el hueso genera mayor resistencia ante una fuerza de carga rápida como un proyectil; en otras palabras, el tejido óseo es más rígido y fuerte a mayores velocidades y en vez de experimentar una deformación o ajuste, como lo haría ante una carga lenta (un trauma contundente), se comporta como un material quebradizo y se rompe.

La severidad con la que el hueso se fractura dependerá en gran medida de los factores extrínsecos determinados por la mecánica del proyectil y de los factores intrínsecos determinados por las características de la estructura ósea que impacte (Hollerman et al., 1990), así como, por los modificadores epidemiológicos asociados al contexto de la víctima y del victimario (Kimmerle et al., 2011). Comprender en conjunto todas estas variables, permitirá entender la variación del traumatismo y, por lo tanto, garantizar la correcta interpretación final de los datos. Para explicar estos eventos, la física y la balística han realizado enormes contribuciones al conocimiento del movimiento de un proyectil a través del cañón (balística interna) y a través de un medio como el aire y el agua (balística externa). Asimismo, diversas disciplinas como la traumatología, la medicina, la cirugía reconstructiva y la antro-

pología forense, entre otras; han contribuido a comprender la relación que existe entre el tejido óseo y la energía cinética final del proyectil cuando este impacta en o a través del cuerpo (balística terminal) (Pérez, 2016).

El análisis de traumatismos por impacto de PAF, requiere de una cuidadosa observación, de una vasta documentación de diversos principios científicos entre los que se incluyen la física, la biomecánica y la ingeniería (Symes et al., 2012), así como, de un sentido de prudencia en las interpretaciones. Es importante que las explicaciones se desprendan de un esfuerzo de equipo que involucre tanto al patólogo o médico forense, como al antropólogo forense y si es el caso, al experto balístico. Sin duda, un enfoque multidisciplinar, ayudará a realizar análisis más precisos que contribuyan a establecer las circunstancias en las cuales se produjo la muerte y proporcionen argumentos científicos que respalden la defensa de los Derechos Humanos.

## MECÁNICA DE UN PROYECTIL

Conocer a detalle todos los factores que afectan el comportamiento del proyectil durante su trayectoria desde que sale del cañón hasta que impacta en un blanco, implicaría conocer las singularidades del proyectil, del arma y del contexto. Estos aspectos difícilmente se revelan durante el proceso de investigación, pero además, no son completamente comprendidos por la balística (Heard, 2008; Kieser et al., 2013) ni por las investigaciones sobre violencia armada tanto globales (Geneva Declaration Secretariat, 2015; McEvoy et al., 2017) como locales (Arriaga et al., 2017).

3 La propiedad viscoelástica del hueso le permite actuar como un material dúctil, capaz de deformarse o como un material frágil, susceptible a fracturarse, siendo sus propiedades elásticas dependientes de la velocidad y del tiempo de la fuerza que se aplica (Bankoff, 2012).

La velocidad, perfil del proyectil (tamaño y forma), estabilidad, poder de expansión y fragmentación y la presencia de impactos secundarios son algunos de los factores más importantes —no los únicos— a tener en cuenta para explicar el daño potencial que puede causar un proyectil a un tejido (Hollerman et al., 1990; Magaña et al., 2011; Santucci et al., 2004).

Hoy, se sabe que la energía final de transferencia al tejido depende en primera instancia de la velocidad inicial con la que el proyectil abandona la boca del cañón, que está determinada por la velocidad de combustión interna (dependiente de la presión de la cámara de combustión, de la temperatura del combustible, de la sensibilidad a la inflamación, de la presencia de sustancias químicas reguladoras de la velocidad de ignición y de la cantidad de oxidante y de la energía del encendedor, entre otros) (Degirmenci, 2015) y obedece a las condiciones de conservación y fabricación del arma y del proyectil. Estos valores se encuentran publicados —para la mayoría de las armas— en tablas balísticas (Stefanopoulos et al., 2014).

De acuerdo con la velocidad inicial del proyectil, las armas de fuego se han dividido convencionalmente en dos grupos: baja y alta velocidad; aunque también se considera una categoría intermedia. Las armas de baja velocidad son aquellas que impulsan sus proyectiles a menos de 305 m/seg y las armas de alta velocidad son las que alcanzan velocidades en sus proyectiles de más de 610 m/seg; el grupo intermedio, comprende un rango de velocidad entre 305 y 609 m/seg (Dodd, 2005; Heard, 2008; Ruiz et al., 2007). Sin embargo, la distinción entre el uso común de “baja velocidad” y “alta velocidad” es útil sólo como una forma de diferenciación general entre los traumatismos causados por armas cortas y aquellas causadas por armas largas, pues la velocidad final y la energía transferida dependerá de otros múltiples factores (Kneubuehl et al., 2011). En general, las armas de baja velocidad incluyen todas las pistolas —aunque hay excepciones como la Magnum 357— y las armas de alta velocidad incluyen todos los rifles automáticos y semiautomáticos y, el grupo intermedio, incluye a las escopetas (Fackler, 1986; Hollerman et al., 1990; Manzano et al., 2001; Santucci et al., 2004).

En segunda instancia, la velocidad final, dependerá de la velocidad con la que el proyectil atraviese el medio (aire, agua u otro) hasta llegar al blanco, que a su vez depende de la resistencia que el proyectil tenga a ese medio y al efecto de la fuerza de gravedad sobre este, así como de la estabilidad del proyectil durante su trayecto (dependiente de la precesión, nutación y cabeceo<sup>4</sup>). Como resultado de estas fuerzas, el proyectil describirá una trayectoria generalmente curva y de manera descendente; no obstante, la forma final de la curva dependerá de la velocidad inicial, del ángulo de elevación del cañón, del perfil del proyectil y de la distancia al blanco (Heard, 2008).

Por lo tanto, la energía final con la que llega el proyectil al tejido estaría determinada por el principio físico  $E = \frac{1}{2}mv^2$ . (donde E representa la energía, V la velocidad y M la masa), a mayor velocidad y masa, mayor energía transferida al tejido. No obstante, muchos proyectiles no transfieren la totalidad de su energía al tejido de manera eficiente, las armas con mayor velocidad no son universalmente las más dañinas y los proyectiles de alta velocidad pueden atravesar el cuerpo dejando tan sólo un pequeño efecto dañino en su interior; por lo tanto, el potencial de daño no es del todo igual a  $\frac{1}{2}mv^2$ .

Existen al menos cuatro factores principales que determinan la transferencia de energía cinética (Vellema et al., 2011):

1. La cantidad de energía cinética (KE) contenida por el proyectil en el momento del impacto, es dependiente de la velocidad y de la masa del proyectil.  $KE = \frac{1}{2}mv^2$ .
2. El ángulo de rotación de un proyectil en el momento del impacto depende de las características físicas del proyectil (su longitud, diámetro y densidad), de la tasa de torsión impartida por el cañón y de la densidad del medio donde se desplaza. Cuanto mayor es el ángulo de rotación cuando un proyectil golpea un cuerpo, mayor es la cantidad de transferencia de energía cinética. Una vez que el proyectil entra en el tejido, su ángulo de rotación se incrementa progresivamente hasta que el proyectil se vuelve completamente inestable girando y aumentando la cavidad temporal (Ver biomecánica). El aumento repentino de la fuerza de arrastre también

4 La precesión hace referencia a la rotación del proyectil alrededor del centro de su masa y la nutación al movimiento circular de la punta del proyectil a lo largo del eje de su trayectoria. Conjuntamente, el proyectil puede presentar un movimiento de la punta hacia arriba y hacia abajo de la línea de trayectoria, conocido como cabeceo (Magaña et al., 2011).

pone presión sobre el proyectil, lo que puede conducir a la desintegración de la bala generando una destrucción adicional en los tejidos.

3. El calibre, la construcción y la configuración de un proyectil también afecta la cantidad de transferencia de energía cinética hacia el tejido. El calibre (diámetro) y la forma de un proyectil determina la forma de la sección transversal inicial del proyectil y, por lo tanto, su arrastre. Si el proyectil sufre una deformación, esta dependerá tanto de la construcción del proyectil —longitud, grosor y la dureza del material que lo recubre, así como, la dureza del núcleo y la presencia o ausencia de características especiales, tales como, puntas huecas o estriadas— como de la velocidad con la que se desplaza.
4. La densidad, la fuerza y elasticidad del tejido atravesado por el proyectil. Cuanto más denso sea el tejido mayor será el ángulo de rotación y en consecuencia mayor la cantidad de transferencia de energía cinética.

## BIOMECÁNICA

La biomecánica es la disciplina que estudia la aplicación de las leyes mecánicas al tejido biológico (Wescott, 2013). El tejido óseo es una de las estructuras más fuertes y rígidas del cuerpo debido a la combinación de elementos orgánicos, responsables de las propiedades de tensión (elasticidad y tenacidad) e inorgánicos, responsables de las propiedades de compresión (rigidez) (Berryman et al., 1998; Currey, 2013). Asimismo, la organización y geometría general de cada estructura (Wescott, 2013; Yoganandan et al., 2004) y las propiedades viscoelásticas y anisotrópicas<sup>5</sup> (Bankoff, 2012; Kirchner, 2006; Reilly et al., 1975), hacen que el hueso sea más fuerte en compresión que en tensión.

Como se mencionó anteriormente, la velocidad con la que ingresa el proyectil limita la respuesta elástica del hueso y, por lo tanto, este se fractura antes de deformarse. Durante este

proceso se pueden distinguir dos mecanismos, los cuales representan un mismo proceso que ocurre de manera simultánea cuando la integridad de los tejidos se ve comprometida.

### Mecanismo de compresión, tensión y cizallamiento: cavidad permanente

Cuando un proyectil impacta en el hueso, el daño producido se debe en primer lugar, a la compresión y cizallamiento<sup>6</sup> por el proyectil en el punto de impacto; en segundo lugar, a la transferencia de energía térmica (Kieser et al., 2011; Shattock, 1923) y en tercer lugar, a la formación de proyectiles secundarios, como fragmentos de hueso, dientes, accesorios dentales, entre otros (DiMaio, 1999; Hollerman et al., 1990). Los tres mecanismos desintegran el hueso y crean una *cavidad permanente* (Karger, 2009), que conocemos comúnmente como orificio de entrada y de salida (ver [figura 1D](#)).

Esta cavidad u orificio podría ser proporcional al tamaño y a la forma del proyectil que penetra el tejido (Fackler, 1988); sin embargo, el tamaño de la lesión está determinada por los factores atribuidos a la balística interna y externa, así como a la elasticidad del tejido y a la ubicación de la lesión (Berryman et al., 1995), haciendo imposible determinar el calibre del proyectil a partir de la cavidad permanente. Aun así, el tamaño del defecto podría utilizarse para eliminar las clases de proyectiles posibles (DiMaio, 1999).

Si se analiza el impacto de la bala con el efecto de velocidad en cámara lenta, se apreciaría como el proyectil comprime el hueso generando fracturas radiales producto de la compresión/tensión en el punto de impacto, el resultado es el cizallamiento del hueso y la formación de un tapón de tejido óseo comprimido que crea una salida con forma cónica que genera la característica de craterización interna. Asimismo, el calor de fricción que genera el impacto —particularmente en huesos planos como el cráneo y el esternón (Faller-Marquardt et al., 2004)— deshidrata el colágeno del tejido ayudando a la fracturación de la superficie y a la incorporación de grandes

5 Su propiedad anisotrópica, le permite cambiar su resistencia dependiendo de la dirección de la aplicación de la fuerza siendo más resistente en sentido longitudinal que en sentido radial o tangencial.

6 Hay cinco tipos principales de fuerzas: tensión, compresión, flexión, torsión y cizallamiento o una combinación de estas. La compresión es una fuerza que actúa para disminuir la dimensión del hueso en la dirección de la fuerza aplicada (es decir, “exprimir” el hueso), el cizallamiento es una fuerza que actúa para deslizar porciones del hueso relativa a la otra, paralela a la dirección de la fuerza (es decir, “empujar o desplazar” el hueso) y la tensión una fuerza que actúa en direcciones opuestas a lo largo del eje longitudinal del hueso (es decir “estira” el hueso) (Wescott, 2013).

cantidades de material inorgánico dentro de la lesión (ver **figura 1A-B**).

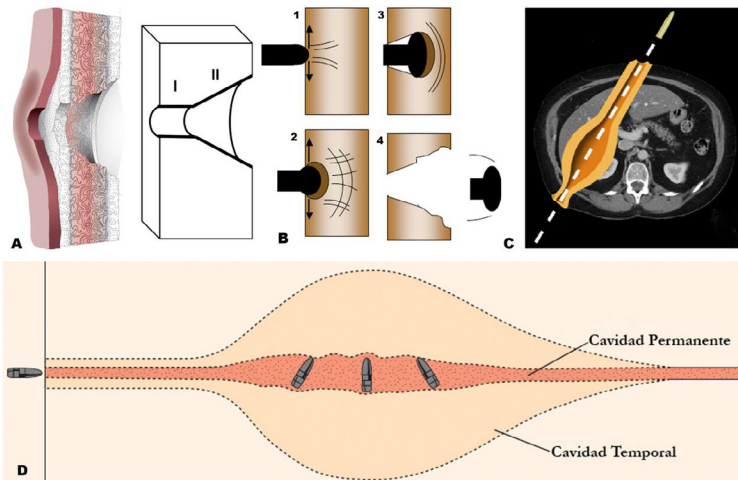
**Mecanismo de estiramiento por desplazamiento: cavidad temporal**

Con el avance del proyectil, la transferencia de energía desplaza y expande los tejidos blandos y forma una *cavidad temporal* (Fackler, 1988; Jenkins, 2011). Esta cavidad se estira y empuja el tejido blando produciendo fracturas en estructuras óseas adyacentes no impactadas directamente (Karger, 2009), a medida que avanza el proyectil, la energía se disipa y deja a su paso los tejidos parcialmente destruidos (ver **figura 1C-D**). En el caso de un impacto en el cráneo, dado que este es una estructura semi-cerrada, la cavidad temporal genera una presión intracraneal cuya energía se disipa hacia las estructuras que menor resistencia ofrecen, como el techo de las órbitas,

otros huesos faciales, suturas, entre otros (Di-Maio, 1999) (ver **figura 8A**).

Asimismo, proyectiles fragmentados y deformados, fragmentos de huesos o proyectiles secundarios, pueden incrementar aún más la cavidad permanente o causar una segunda cavidad (Karger, 2009).

La gravedad y el tamaño del traumatismo en los dos mecanismos se relacionan directamente con la cantidad total de la transferencia de energía cinética a los tejidos, que no sólo está determinada por la cantidad total que transfiere el proyectil, sino por múltiples factores y modificadores relacionados con el evento. Así pues, un proyectil más lento y pesado comprimirá más el tejido generando una cavidad permanente más grande, pero producirá una cavidad temporal menor. Un proyectil más rápido, dejará una cavidad temporal más grande, pero una cavidad permanente más pequeña (Hollerman et al., 1990).



**Figura 1.** Mecanismos de cavidad permanente y cavidad temporal.

A) Zonas de la lesión por impacto de PAF. La zona I es el canal de disparo inicial, caracterizado por los cambios de temperatura sobre la superficie ósea y el desgarro del periostio. La zona II o región de astillamiento (spall) donde el hueso se fractura en forma de cono y se desplaza hacia la parte interna. B) Modelo heurístico de la penetración de un proyectil de punta redondeada en un hueso plano. 1) El impacto de un proyectil inicia su trayectoria fracturando el tejido e irradiando la energía (en el plano vertical) del impacto bajo la superficie de este. 2) El proyectil se deforma con el impacto y forma un tapón al frente de este producto del tejido comprimido que desplaza a su paso; asimismo, las ondas de la energía producida se disipan en el punto de impacto. 3) Con el aumento de la penetración, las fuerzas de tensión/cizallamiento entre el proyectil, el tapón y la resistencia del tejido, crean un canal de disparo. 4) La acumulación gradual del material delante del proyectil junto con la disipación de la energía, forma un orificio de salida (hacia el interior) en forma de cono (lo que conocemos como craterización) (Kieser et al., 2011). C) Proyectil de alta energía creando una cavidad temporal en la región abdominal más grande que la cavidad permanente (Hanna et al., 2015). D) Cavidad permanente y temporal dejada por un proyectil 7.62 mn NATO (Powers et al., 2005).

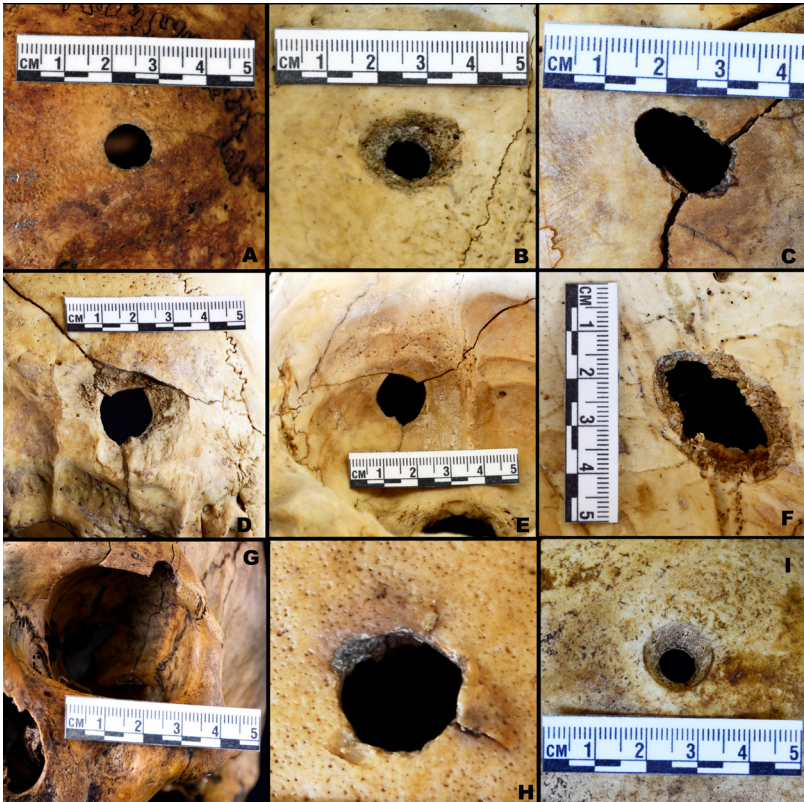
Fuente: adaptada de Phowers et al., (2005), Kieser et al., (2011) y Hanna et al., (2015)

Un proyectil largo rotará más al interior de la cavidad temporal y producirá más daño que uno corto (Bono et al., 2004).

**CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAUMATISMOS POR IMPACTO DE PAF EN CRÁNEO**

La bóveda craneal humana es una estructura redondeada que comprende tres capas de hueso: una capa de hueso cortical denso en el exterior y

en el interior, intercaladas por una capa de hueso esponjoso o diploe. El espesor de los huesos varía dependiendo de la zona anatómica, pasando de zonas con capas gruesas (por ejemplo, hueso frontal, hueso occipital y hueso parietal) a capas delgadas sin diploe, especialmente donde el hueso se cubre con músculo (el hueso temporal en su porción escamosa, algunas áreas del hueso esfenoides y los huesos faciales como el vómer, los lacrimales o los nasales). Adicionalmente, el cráneo presenta diversos orificios en la mayor parte de los huesos que lo componen para el ac-



**Figura 2.** Características de orificios de salida y entrada por impacto de PAF en cráneo.

- A) Orificio de entrada B) Orificio de entrada: craterización en la tabla interna. C) Orificio de entrada: delaminación en tabla externa. D) Orificio de salida: craterización externa E) Orificio de salida: vista endocraneal. F) Orificio de entrada: vista endocraneal, nótese la coloración metálica dejada por el proyectil. G) Orificio de entrada con forma de semiluna. H) Orificio de entrada: lámina cortical del hueso evertida por el paso del proyectil. I) Lesión *ante mortem*: craneotomía clínica, nótese la remodelación ósea de los bordes.

Fuente: Mtra. Aurora Pérez

ceso de vasos sanguíneos y nervios —principalmente en la región basilar— y alberga además el cerebro, las cavidades orales, nasales, auditivas y las órbitas. La estructura, composición y función del cráneo, serán responsables de la variación final de la morfología de los traumatismos por impacto de PAF.

### Orificios de entrada y de salida

En su categoría más amplia, se reconocen dos tipos de traumatismos: penetrantes y perforantes. Un traumatismo penetrante produce un orificio de entrada pero no un orificio de salida —alojándose en el interior, algunas veces impactando la tabla ósea interna dejando características externas de una lesión contundente (Smith et al., 1993)—, mientras que un traumatismo perforante atraviesa por completo la estructura, produciendo un orificio de salida (DiMaio, 1999). Sin embargo, estas categorías podrían llegar a ser relativas cuando pensamos en la totalidad del cuerpo humano. Es posible que al mismo tiempo tengamos un trauma penetrante y perforante, por ejemplo, un proyectil que pasa a través del tórax pero que permanece en la columna vertebral es penetrante en relación con el cuerpo, pero perforante si consideramos que atravesó un pulmón. Las singularidades de estos orificios están definidas por las siguientes características:

### Delaminación y craterización

Nos referimos a delaminación cuando se habla de la pérdida del tejido cortical del hueso, ésta puede estar acompañada de erosiones y fisuras alrededor del orificio y presentar fragmentos de lámina cortical evertida o invertida (ver [figura 2C-H](#)). En cambio, la craterización es un fenómeno que ocurre en los huesos planos y tubulares con un mínimo de grosor y densidad ósea (Berryman et al., 2000; DiMaio, 1999), cuando esto sucede, se desprende una mayor cantidad de tejido óseo del borde contrario al de la superficie de impacto del proyectil dejando expuesto el diploe, en una forma tal que recuerda la imagen de un cráter (Bhoopat, 1995; Campos, 2014; Quatrehomme et al., 1998b). Por lo tanto, si el proyectil impacta de afuera hacia adentro la craterización se ubicará en la parte interna y corresponderá a una entrada, y viceversa, si el impacto se da de adentro hacia afuera, la craterización será externa y corresponderá a una salida (ver [figura 2 A-B-D-E](#)).

La delaminación puede presentarse tanto en orificios de entrada como de salida, siendo esta más frecuente en las entradas, se ha observado tanto en impactos de media como de alta velocidad, así como en disparos de contacto y distancia intermedia (Kimmerle et al., 2011; Pérez, 2016).

La delaminación y la craterización pueden ser simétricas o asimétricas, dependiendo del ángulo de impacto, de las fuerzas de rotación, velocidad, forma y calibre del proyectil, de la transferencia de energía cinética y de la resistencia del hueso (Baik et al., 1991) (ver [figura 2](#)). Una craterización o delaminación simétrica se distribuye uniformemente alrededor del orificio, por el contrario, una asimétrica es más pronunciada o incompleta en unas zonas del orificio que en otras (Quatrehomme et al., 1998b). Aunque hay excepciones, la simetría y la asimetría podría indicar el ángulo con la que el proyectil ingreso. Defectos simétricos estarían asociados a impactos que ocurren de forma perpendicular, mientras que defectos asimétricos están asociados a impactos con algún grado de inclinación y su posición podría indicar la dirección seguida por el proyectil (Kimmerle et al., 2011; Pérez, 2016). Sin embargo, se recomienda precaución al establecer la trayectoria a partir de estos defectos.

Sin embargo, en donde las regiones del hueso son muy delgadas generalmente hay una pérdida ósea o fracturas de estallido (Delannoy et al., 2013) (ver [figura 8A](#)) que impide la observación de delaminaciones o craterizaciones tanto en orificios de entrada, como de salida.

### Variantes de la craterización

#### Orificios de entrada con craterización externa

Existen varias circunstancias en que esta característica es susceptible a presentarse; sin embargo, variaciones biológicas en el grosor del hueso podrían anular su presencia:

1. En lesiones de contacto, la craterización podría producirse por la fuerza de los gases expulsados a través del agujero del arma (Coe, 1982; Spitz, 2006).
2. El movimiento de rotación del proyectil podría generar doble craterización (Baik et al., 1991; Bir, 2015); sin embargo, este mecanismo parece casi imposible, pues el



proyectil solo gira una porción mientras penetra el hueso (Quatrehomme et al., 1998a).

3. En el cráneo, impactos con proyectiles de larga distancia, alta velocidad y bajo calibre, la liberación de energía cinética al interior produce una presión explosiva hacia el exterior a través de la entrada, que podría explicar la tendencia de este tipo de proyectiles a producir craterización externa (Baik et al., 1991), siendo bastante improbable en proyectiles de calibre y velocidad baja (Peterson, 1991). Sin embargo, la combinación de múltiples factores como el ángulo de tiro, la rotación, velocidad, forma y tamaño del proyectil y la energía cinética recibida por el tejido, podrían influir en este tipo de defecto (Baik et al., 1991). También, se podría presentar en las regiones curvas del cráneo, debido a que estas áreas presentan mayor resistencia al impacto comparado con las partes planas (Baik et al., 1991; Cappella et al., 2014).
4. Proyectiles de punta o encamisados redondos y de bajo calibre producen craterización externa, debido a su capacidad de destrucción mayor comparada con otros proyectiles (Baik et al., 1991).
5. En lesiones tipo ojo de cerradura o *keyhole*.

### Orificios de entrada tipo *keyhole*

Por definición, este tipo de lesión presenta dos características: 1) una sección redondeada u ovoide, con craterización interna y 2) una sección triangular, con craterización externa. La parte redondeada sería la “entrada” y la parte triangular la “salida” (Coe, 1982; Dixon, 1982; Spitz, 2006), en caso de que el proyectil salga. Sin embargo, existe una gran variedad de morfologías, que incluyen formas incompletas o presencia de craterización externa en la entrada, cuando lo típico sería sólo observar craterización interna (Sanabria et al., 2016). Este defecto se presenta con mayor frecuencia en un plano tangencial, pero también podría presentarse en un perpendicular, en las siguientes circunstancias (Delannoy et al., 2016) (ver [figura 3](#)):

1. En el plano tangencial; cuando el proyectil impacta, la fuerza vertical genera la craterización interna y la fuerza horizontal la craterización externa (con un parti-

cular astillado en la tabla externa a veces con fragmentación producto del paso del proyectil, característica que no se presenta en el plano perpendicular (DiMaio, 1999; Spitz, 2006), el patrón triangular generalmente ocurre por la salida del proyectil inclinado. Por lo tanto, el proyectil impacta tangencialmente, ingresando virtualmente y saliendo total o parcialmente (Mederos et al., 2011).

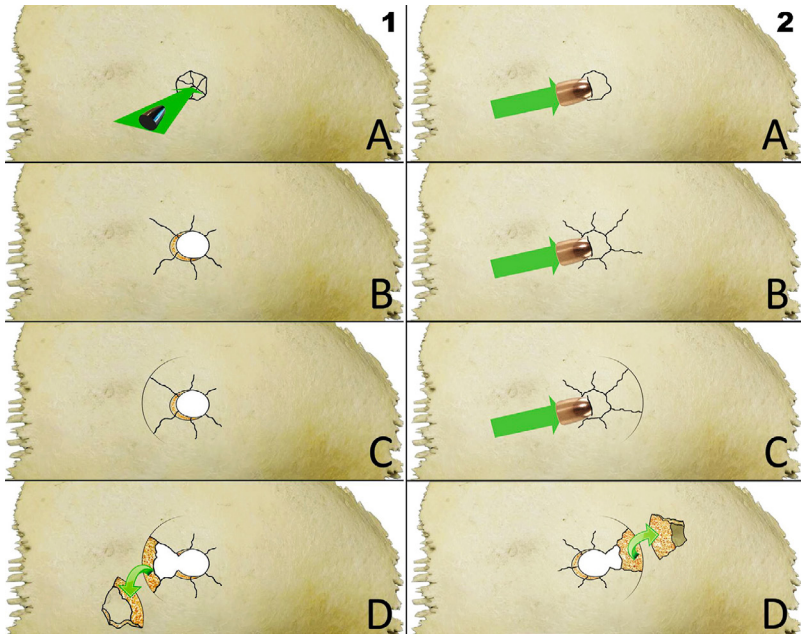
2. En el plano perpendicular; en primer lugar, se produce una fractura primaria cuando el proyectil impacta el hueso; luego, una o varias fracturas secundarias se extiende desde esta fractura y se produce una fractura concéntrica terciaria (perpendicular a la fractura secundaria), más lejos del punto de impacto inicial, generando la craterización externa de forma triangular que se rompe con la misma orientación de las fracturas radiales. Esta forma también podría explicar la craterización externa en lesiones de contacto (Baik et al., 1991). Aunque es inusual, se ha documentado que orificios tipo *keyhole* producidos en este plano se podrían observar en orificios de salida (Dixon, 1982).
3. Una tercera posibilidad se da cuando se presentan dos disparos de contacto en el mismo orificio (Frazer, 1987).

Este tipo de defecto está muy relacionado con contextos de combate o múltiples ataques por francotiradores, y es quizás, uno de los pocos traumatismos por impacto de PAF que podría no ser letal (Jackson et al., 2008).

En el cráneo, cuando el proyectil no ingresa a la cavidad craneana, sino que se desliza sobre la tabla externa del hueso, algunas veces deja un defecto a manera de canal o ranura (Farhat et al., 2012; Quatrehomme et al., 2013).

### Orificios de salida con caracterización interna

La craterización interna en orificios de salida es extremadamente rara. Sin embargo, podría producirse en el cráneo por la formación de la cavidad temporal que aumenta la presión interna dentro de la bóveda craneal (Quatrehomme et al., 1997a). En orificios de salida tipo *keyhole*, podría presentarse craterización interna (Bhoopat, 1995).



**Figura 3.** Tipos de trayectoria que producen una lesión tipo *keyhole*.

1) Trayectoria perpendicular del proyectil: A) Impacto de proyectil en el hueso B) Fracturas radiales que se extienden desde el punto del impacto. C) Fracturas concéntricas que se generan lejos del punto de impacto inicial. D) Craterización de la tabla externa, pero sin astillamiento (sólo “desprendimiento” de la porción triangular que se da por efecto de las líneas de fractura). 2) Trayectoria tangencial del proyectil: A) Impacto de proyectil en el hueso. B) Fracturas radiales que se extienden desde el punto de impacto. C) Fracturas concéntricas que se generan lejos del punto de impacto inicial. D) Craterización de la tabla externa asociada con un mecanismo de astillado, creado por el proyectil cuando pasa a lo largo de la tabla ósea.

Fuente: Adaptado de: Delannoy, Y et al., (2016)

### Ausencia de craterización

Esta puede ocurrir por dos razones fundamentales: 1) el hueso puede ser demasiado delgado — huesos del cráneo como: esfenoides, techo de las órbitas, escama del temporal o región de unión de suturas y otros huesos: como en el cuerpo de la escápula—, para crear este tipo de defecto (DiMaio, 1999) o, 2) de manera muy particular, cuando la salida o la entrada de un proyectil se dan por un orificio natural —orificios nasales, bucales, órbitas o foramen magnum (Arroyo et al., 2011; Kuchta et al., 2009; Sánchez et al., 2010)— o atraviesa la cavidad corporal sin tocar una estructura ósea. Sin embargo, aunque la craterización no sea visible las estructuras internas más cercanas a estos orificios podrían verse afectadas

(Lee et al., 1995). En contextos arqueológicos y forenses se debe tener precaución con traumatismos en los techos de las órbitas pues estos generalmente sufren de pérdida *peri mortem* y *post mortem* (Quatrehomme et al., 2013); ocultando así, orificios de entrada y de salida. La posibilidad de que un proyectil ingrese o salga a través de orificios naturales siempre debe ser considerada (Ministrini et al., 2015).

### Forma

Así como las otras características, la variedad de formas dependerá de las variables extrínsecas e intrínsecas asociadas al impacto de PAF; sin embargo, la velocidad, distancia y ángulo del disparo, la calidad del proyectil, el grosor y la forma

del hueso influirán de manera importante en la forma final de los orificios de entrada y de salida.

Los orificios de entrada son típicamente de forma redondeada u ovoides, pero también se pueden observar defectos en forma de semiluna o circunferencias u óvalos incompletos usualmente cuando el proyectil impacta en áreas del cráneo como: bordes de las órbitas, arcos cigomáticos, huesos nasales, mandíbula o maxilar (Kimmerle et al., 2011; Pérez, 2016) (ver [figura 2G](#)). Asimismo, se pueden observar defectos excéntricos de entrada, que ocurren cuando el proyectil impacta de lado, formando un canal o defectos con forma de número ocho producto de un doble disparo rápido (Kimmerle et al., 2011).

Los orificios de salida son generalmente de forma irregular y más grandes, especialmente cuando el proyectil se deforma al interior o impacta primero en un hueso de mayor grosor (Quatrehomme et al., 1998b) (ver [figura 7A](#)).

En algunos casos, un proyectil puede fracturar el hueso sin dejar la característica típica de entrada circular, así como procesos tafonómicos pueden modificar el hueso invisibilizando el traumatismo o provocando lesiones miméticas<sup>7</sup> (ver [tabla 1](#)) que generan interpretaciones erróneas (ver [figura 21](#)).

## Coloración

En los orificios de entrada por traumatismos cercanos o de contacto, se puede observar una tonalidad oscura o metalizada producto de los residuos de disparo —algunas veces es posible encontrar elementos o esquirlas del proyectil—; mientras que en los orificios de salida no se observa ninguna coloración en particular (Bir, 2015) (ver [figura 2F](#)). Las pruebas con modelos sintéticos, demuestran que se puede encontrar partículas de pólvora sobre el perióstio y en el cráneo solo en los orificios de entrada (Thali et al., 2002).

## CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAUMATISMOS POR IMPACTO DE PAF EN ESQUELETO POSCRANEAL

Los traumatismos por impacto de PAF en los huesos poscraneales son muy variables, aunque, algunas regiones presentan características simila-

res a las vistas en el cráneo. De manera general, se pueden encontrar orificios de entrada circulares, elípticos y semicirculares, asociados a fracturas radiales, oblicuas, concéntricas o conminutas. Los orificios de salida generalmente son más destructivos y menos definidos, asociados a fracturas irregulares o a pérdidas de sustancia ósea.

En huesos planos como el esternón, la escápula, huesos de la pelvis y las costillas, es posible identificar orificios de entrada circulares, elípticos y semicirculares, este último cuando el proyectil impacta en el borde de la estructura (Kneubuehl et al., 2011; Pollak et al., 2013) (ver [figura 4](#)). En huesos muy delgados como en algunas regiones de la escápula o las costillas, no suele haber craterización (Quatrehomme et al., 1998a); sin embargo, en ausencia de esta característica, la direccionalidad del impacto se puede revelar cuando se utiliza un microscopio electrónico de barrido (SEM) (Rickman et al., 2014). Asimismo, se puede observar astillamiento o una parte de la lámina del hueso extruida hacia la dirección en el que el proyectil se desplazó (Kimmerle et al., 2011) (ver [figura 4A](#)).

En costillas, el proyectil puede perforar una costilla sin causar fracturas a las costillas adyacentes o puede causar fracturas múltiples a las costillas ubicadas por encima y debajo del punto de impacto (ver [figura 4A](#)). La presencia de lesiones en estos huesos son muy útiles porque proporcionan información sobre la posición de la víctima y dan una pista de otras estructuras afectadas (Kimmerle et al., 2011).

En huesos largos, los defectos de entrada difieren en morfología dependiendo del área que se ve afectada (sean las epífisis o las diáfisis). Cuando un proyectil perfora la diáfisis —en donde el hueso es más denso— se crea un tracto en forma de embudo que permite diferenciar el orificio de entrada versus el de salida (Reginelli et al., 2014). Asimismo, se presentan fracturas radiales, concéntricas, conminutas o en espiral que se desplazan alrededor de la diáfisis hacia el orificio de salida y a lo largo del eje del hueso (Kneubuehl et al., 2011; Stefanopoulos et al., 2014) (ver [figura 5](#)). Frecuentemente, el orificio de salida puede no distinguirse ya que las fracturas radiales y concéntricas alcanzan el lado más alejado del hueso, comprometiendo la estructura tubular antes de que el proyectil salga (Smith et al., 2003). Defectos tipo *keyhole* también se han

7 Una lesión mimética es aquella que tienen características morfológicas de un trauma en particular, pero cuya semejanza externa se deriva de otro proceso (Pérez, 2016).

**Tabla 1.** Lesiones miméticas ante mortem, peri mortem y post mortem

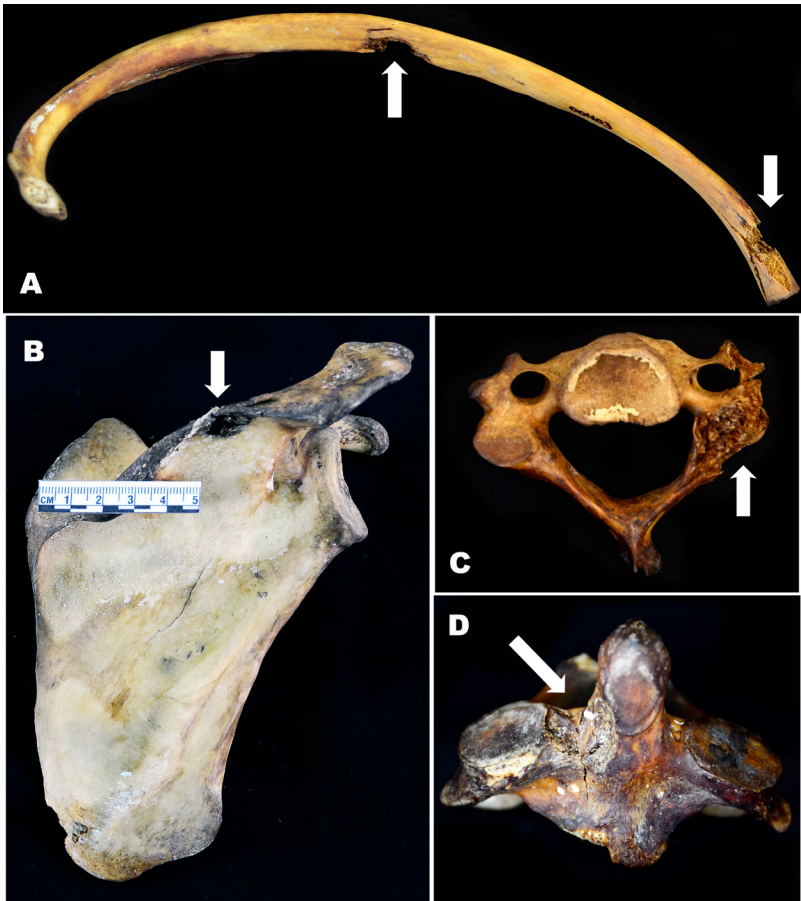
Ante mortem	Peri mortem
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Orificios producto de trepanaciones o craneotomías, son las más comunes en el cráneo, el tamaño de estos defectos con bordes remodelados hace que el diagnóstico sea obvio y difícil de interpretar erróneamente (Carod et al., 2004; Khare et al., 1995) (Fig.351).</li> <li>2. Algunas patologías como carcinomas, mielomas, sífilis, tuberculosis, infecciones por hongos u osteomielitis (Hacket, 2013; Waldron, 2009), podrían generar algunas lesiones líticas en el hueso; sin embargo, estas lesiones tienden a ser sistémicas y no localizadas (Conrado-Rodríguez, 2006).</li> <li>3. Variaciones anatómicas en forma de agujeros o forámenes en el cráneo y en otras partes del cuerpo (De la Grandmaison et al., 2001) podrían confundirse con traumatismos por impacto de PAF.</li> </ol>	<p>Dado que el extremo de un proyectil también actúa como un objeto puntiagudo (Quatrehomme et al., 2013), elementos contundentes, punzantes y cortantes podrían producir defectos circulares con craterización interna o externa (Delannoy et al., 2013; Galloway et al., 2014) por ejemplo, un arpón equipado con ganchos en el extremo de cada punta de lanza crea una lesión típica de entrada (perforación ósea seguida de una craterización interna) (López et al., 2000). Elementos contundentes, también producen defectos de canal (Sanabria et al., 2016). Los patrones de fracturación y la presencia de residuos de disparo serán un elemento clave para el análisis diferencial de estos traumatismos (Berryman et al., 1996; Hart, 2005).</p>
Post mortem	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Exposición a la acidez, permeabilidad, humedad, temperatura del suelo y a hongos, podrían producir lesiones ovales, triangulares y semilunares, que se verían acentuadas en áreas donde el hueso es más delgado o presenta una condición patológica o biológica anterior (Quatrehomme et al., 1997b)periortem o postmortem defects. Sin embargo, este tipo de lesiones generalmente presenta bordes delgados acompañados de decoloraciones, ausencia de craterización y de fracturas asociadas (Kanz et al., 2006).</li> <li>2. Fenómenos climáticos como las heladas, lluvia, nieve, sol o efectos de congelación y descongelamiento, pueden provocar agrietamiento, descamación y acuanamiento del hueso alterado los sitios de la lesión y produciendo otras lesiones, como fracturas lineales, fracturas diastáticas y desplazamiento de huesos (Calce et al., 2007).</li> <li>3. La acción de raíces podría presionar el hueso alterando las fracturas, especialmente las fracturas diastáticas ya presentes o produciendo otras (Quatrehomme et al., 1997b).</li> <li>4. Depredadores o carroñeros dependiendo de la morfología de los dientes, la mecánica de la mandíbula y la fuerza de la mordida, podrían causar daño al hueso creando lesiones redondeadas e irregulares como resultado de la captura de la presa (Haglund, 1992; Moraitis et al., 2010) y una mayor separación de las suturas o fracturas, producto del traslado de los huesos (Calce et al., 2007).</li> <li>5. Dentro de los intentos deliberados, la exposición prolongada a una alta fuente de calor; tal como carbonización, puede causar efectos de craterización externa en el hueso similar a la salida de un proyectil (Tsokos, 2011). Dado que al calor curva la tabla externa del hueso exponiendo el dople, se forma una craterización asociada, algunas veces, a fracturas lineales o radiales que incrementan el mimetismo (Pope et al., 2004).</li> </ol>	

*Fuente: Elaboración propia a partir de Haglund (1992), Khare et al., (1995), Berryman et al., (1996), Quatrehomme et al., (1997b), López et al., (2000), De la Grandmaison et al., (2001), Carod et al., (2004), Pope et al., (2004), Hart (2005), Conrado-Rodríguez (2006), Kanz et al., (2006), Calce et al., (2007), Waldron (2009), Moraitis et al., (2010), Tsokos (2011), Delannoy et al., (2013), Hacket (2013), Quatrehomme et al., (2013), Galloway et al., (2014), Sanabria et al., (2016).*

reportado en huesos tubulares (Berryman et al., 2000).

Proyectiles de baja velocidad o proyectiles que impactaron primero un objetivo intermedio tienden a causar lesiones penetrantes con fractu-

ras en forma de V, comúnmente llamadas “fracturas mariposa”. Esta clasificación es incorrecta porque la biomecánica de este tipo de lesión es completamente diferente de las fracturas causadas por un mecanismo contundente. Durante



**Figura 4.** Morfología de orificios de entrada y salida en diferentes huesos del esqueleto poscraneal

A) Orificios de entrada y salida en costilla izquierda B) Orificio de entrada en clavícula derecha. C) Paso del proyectil sobre vértebra cervical. D) Paso del proyectil sobre axis.

Fuente: Mtra. Aurora Pérez.

una fuerza de carga rápida (alta velocidad), no se produce flexión y el hueso reacciona como una sustancia frágil y se rompe; la consecuencia es que las fracturas radiales producen una forma de V pues la falla ocurre primero en el sitio del impacto, a diferencia de las lesiones por fuerza contundente en donde la falla ocurre en tensión, opuesta al sitio de impacto (Hart, 2005; Reber et al., 2015; Symes et al., 2012) (ver [figura 6](#)).

En las epífisis, si el proyectil impacta en la cabeza femoral o humeral, podría causar lesiones tipo “explosivas” o defectos de canal, con fracturas lineales sobre la superficie cortical si impacta de manera superficial. También, se podrían presentar proyectiles incrustados (Kimmerle et al., 2011) (ver [figura 5E](#)).

Después del cráneo, uno de los lugares comúnmente afectados es la columna vertebral, principalmente las vértebras cervicales —dispa-

ros al maxilar, las órbitas y la pelvis conllevan el mayor riesgo de lesión concomitante de la columna cervical (Kilbir et al., 1993)— y torácicas. Dada la arquitectura de las vértebras encontramos patrones variables de fractura, por ejemplo: lesiones anteroposteriores en los cuerpos vertebrales consiguen triturar y lesionar vértebras vecinas o lesiones entre dos vértebras, logran formar un defecto de canal que al unirse permiten evidenciar el orificio circular de entrada con un defecto de craterización (ver [figura 4C-D](#)). También, es posible que los fluidos al interior del cuerpo vertebral generen un “efecto de explosión hidráulica”, causando fracturas conminutas (Bono et al., 2004; Kimmerle et al., 2011). Y, además, pueden presentarse proyectiles incrustados.

En dientes, cuando el proyectil impacta, se ha observado en la superficie de entrada una apariencia afilada y una craterización o delaminación externa en la salida (DiMaio, 1999).

## FRACTURAS

Una fractura es la interrupción de la continuidad estructural del hueso y puede encontrarse como una fisura (fractura incompleta) o como una fractura completa. Las fracturas que producen la cavidad permanente son denominadas *fracturas primarias* (ver [figura 1B](#)). No obstante, si el proyectil ha perdido una mayor parte de su energía antes de impactar el hueso, este podría deformarse, produciendo defectos inesperados que mimetizan otro tipo de traumas; especialmente traumas contundentes (Hart, 2005; Smith et al., 1993).

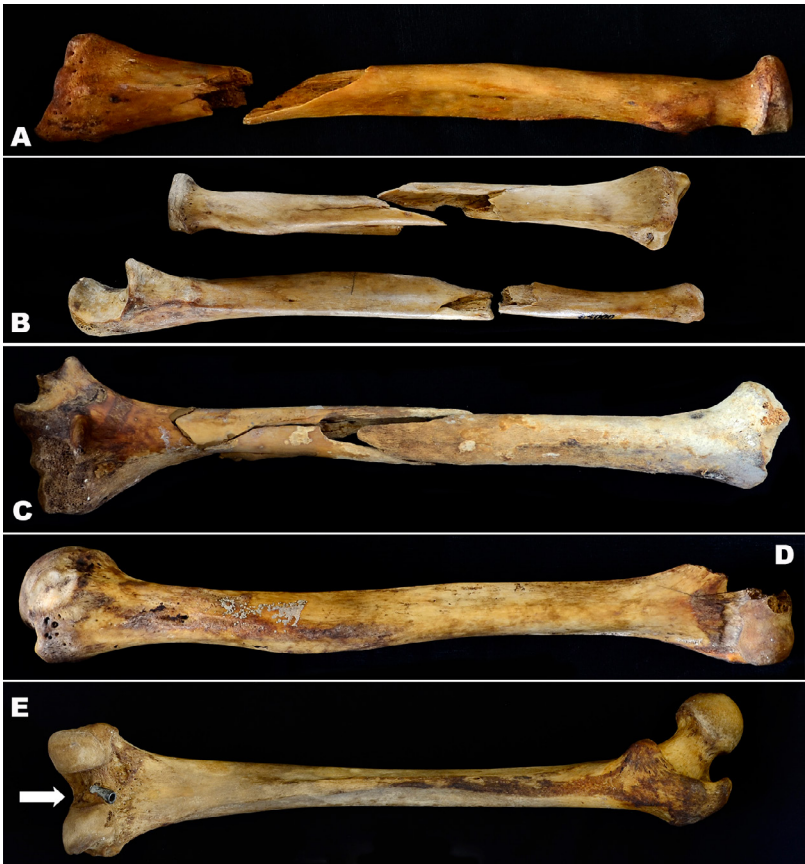
Una vez se da el proceso de fracturación que crea los orificios de entrada y de salida, se pueden presentar o no *fracturas secundarias* asociadas a los orificios, que se producen en respuesta de la fuerza de tensión, y en el caso del cráneo, al incremento de la presión intracraneal (Smith et al., 2003). Generalmente son fracturas radiales que se originan y se alejan del punto de impacto hacia el área en donde el proyectil sale, incluso desplazándose antes que este lo haga produciendo una lesión atípica de salida (Berryman et al., 1998). Dada la cantidad de energía cinética que no alcanza a disiparse con la formación de las fracturas radiales, se crean *fracturas concéntricas o terciarias*, que se detienen cuando intentan cruzar una fractura radial y van aumentando en distancia las unas con respecto a las otras a medida que la energía se va disipando

(Karger, 2009; Smith et al., 1987). En los orificios de entrada tienden a ser más numerosas, más juntas y a presentar mayores radios que en orificios de salida, así mismo, se observan múltiples generaciones de fracturas concéntricas de radios cada vez mayores cuando se usan armas y cartuchos de mayor potencia (Smith et al., 1987) (ver [figura 7A](#)). El biselado de fracturas radiales y concéntricas es externo, independientemente si están asociadas a orificios de entrada o de salida; sin embargo, la curvatura de algunos huesos podría atenuar el bisel, así como la distancia de estas a cualquiera de los orificios, fracturas concéntricas ubicadas cerca del orificio tienden a exhibir un bisel más evidente que las ubicadas más lejos (Berryman et al., 1998) (ver [figura 7B](#)).

En el cráneo podemos encontrar fracturas secundarias o periféricas que no están asociadas a los orificios, causadas por el aumento de la presión intracraneal provocada por la formación de la cavidad temporal (Kneubuehl et al., 2011; Shkrum et al., 2007), estas son más comunes en traumatismos de contacto, debido a la descarga directa de los gases producidos por la combustión que aumentan la presión intracraneal (DiMaio, 1999). Los sitios craneales más comunes de este tipo de fracturas, son las placas orbitales (Harada et al., 2012), el hueso temporal, especialmente el meato auditivo interno (ver [figura 8C](#)) (Kennedy et al., 2014) y el esfenoides, áreas extremadamente sensibles a un aumento repentino de la presión intracraneal por su baja densidad ósea (DiMaio, 1999; Pérez, 2016). Se debe ser cuidadoso con la observación y documentación de estas alteraciones, pues algunas variantes anatómicas como: hueso epiptérico, astérico o la extensión de algunas suturas (Berry et al., 1967), podrían trazar suturas adicionales en el cráneo, que de desconocerse, podrían confundirse con fracturas.

Las fracturas por impacto de PAF siguen ciertas reglas bien definidas:

- Interrupción de las líneas de fractura. Según la ley de Puppe, ninguna fractura sobrepasa a la otra, por lo tanto, las fracturas o la craterización del defecto (Spitz, et al., 1980 en Madea et al., 1988) ocasionadas cuando el proyectil sale, serán detenidas por las fracturas producidas en la entrada, dado que éstas viajan más rápido que el proyectil (Dixon, 1984; Madea et al., 1988; Quatrehomme et al., 1999) y en el caso del cráneo también por las suturas craneales (Smith, et al., 1991 en Kroman,



**Figura 5.** Morfología de orificios y fracturas en huesos largos.

A) Fractura en radio izquierdo. B) Fractura en cúbito y radio derecho. C) Fractura en húmero izquierdo. D) Fractura en epifisis de húmero derecho. E) Proyectoil incrustado en fémur izquierdo.

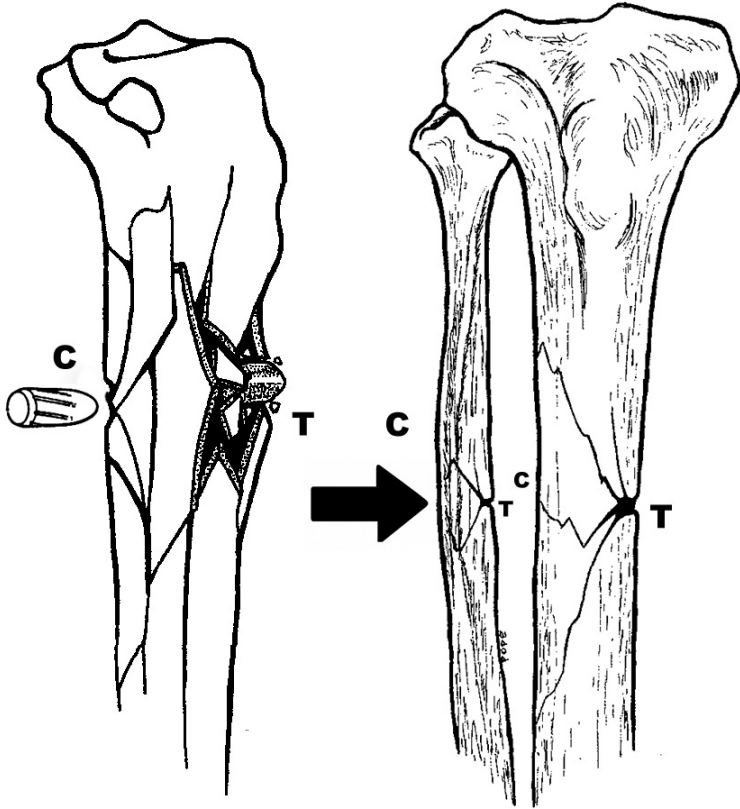
Fuente: Mtra. Aurora Pérez.

et al., 2011) (ver [figura 8B](#)). Es importante considerar esta situación, cuando se tienen elementos óseos fragmentados, o cuando hay múltiples disparos, en este último caso, la energía del segundo impacto se disipará en la fracturas del primero y no avanzará más allá de estas (Rhine et al., 1990).

- Patrón simétrico. En el cráneo, las fracturas en traumatismos de contacto sobre la línea media ya sea submandibular, in-

traoral o medio frontal, podrían mostrar un patrón bilateralmente simétrico, por lo tanto, es de esperarse que —dentro de un cierto rango de variación— los dos lados del cráneo respondan al trauma de la misma manera (Stefan, 1999 en Fenton, et al., 2005).

- Se alejan del punto de impacto hacia el lado opuesto. El hueso se comporta de una manera predecible al estrés mecánico. La tercera ley de Newton del movimien-



**Figura 6.** Una falsa “fractura mariposa” producida por impacto de PAF (izquierda) y una fractura de mariposa producida por un traumatismo contundente (TC) (derecha).

En un impacto de PAF, el hueso se rompe inmediatamente y las fracturas radiales producen una forma de V. En un traumatismo contundente, el hueso sufre deformación plástica y falla en tensión en el lado opuesto de la compresión. C = compresión T= tensión. Figura adaptada de las fuentes citadas.

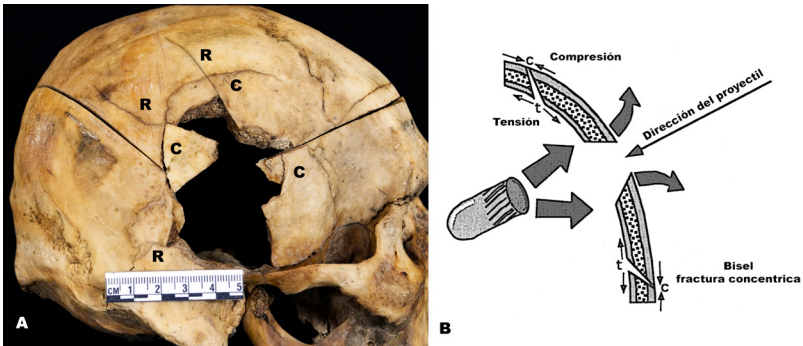
Fuente: Adaptada de Smith et al., (2003)

to, afirma que para cada acción hay una reacción de la misma intensidad, misma dirección, pero en sentido contrario; este principio básico explica la producción y la direccionalidad en la propagación de las fracturas (Hart, 2005). Cuando el punto de impacto se encuentra en la parte posterior, la dirección de las fracturas es de atrás hacia adelante. Cuando el impacto es lateral, la fractura corre hacia el lado opuesto y si el impacto está en la región

anterior, la fractura se dirige hacia posterior (Gurdjian et al., 1953).

- Menor resistencia. Si bien la energía cinética que se transfiere de un impacto de PAF, tiene la capacidad de vencer las áreas de resistencia del hueso, se ha demostrado que alguna vez, las fracturas tomarán el camino de menor resistencia y se propagarán hasta que se disipe la energía (Berryman et al., 1998; Fenton et al., 2005; Vance, 1927). En el cráneo, significa que las





**Figura 7.** Fracturas radiales y concéntricas.

A) Orificio de salida con fracturas radiales y concéntricas asociadas. B) Fuerzas de tensión/compresión formando un bisel externo

Fuente: Adaptada de Berryman et al., (1998)

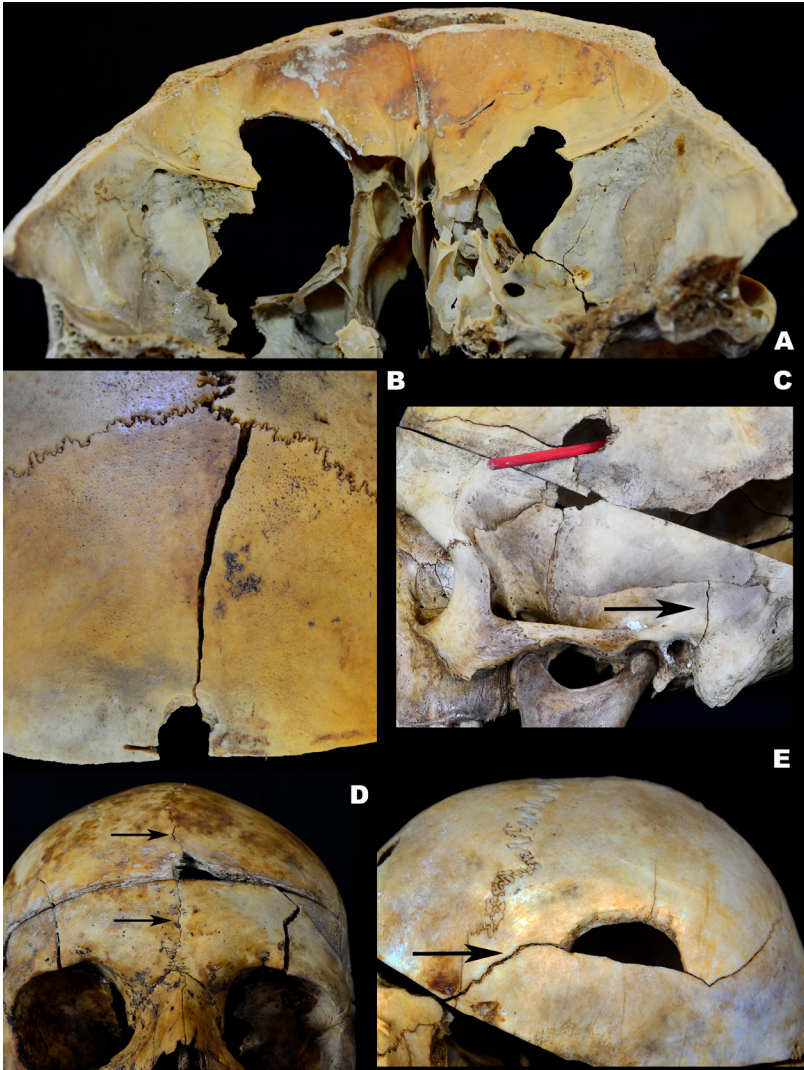
fracturas a menudo comprometerán las suturas (Pérez, 2016) (ver **figura 8D**) —teniendo en cuenta el grado de obliteración sutural (Kroman et al., 2011)— los senos paranasales y los agujeros; especialmente el *foramen magnum* y los agujeros del hueso frontal (Katzen et al., 2003).

Un cráneo adulto sano es más grueso y por lo tanto, más resistente en la parte media del hueso frontal y del hueso occipital, en la zona anterior y petromastoidea del hueso temporal (Hart, 2005; Kanz et al., 2006; LeCount et al., 1920). En la región facial, hay mayor resistencia estructural en los rebordes alveolares, las eminencias malares y en el proceso naso frontal del maxilar (Le Fort, 1901 en Fenton, et al., 2005). Las zonas de contrafuerte no están exentas de fracturarse, cuando el impacto es perpendicular en estas áreas, la fractura se desplaza a través del contrafuerte en lugar de disiparse dentro de este, pero cuando se produce la fractura en un área más frágil y se encuentra con un contrafuerte en un ángulo oblicuo, la fractura tiende a desviarse hacia las áreas de estructura más débil (Gurdjian et al., 1953).

## TRAYECTORIA

Definir la trayectoria significa asociar las lesiones juntas como si fueran una única lesión (Kimmerle et al., 2011) Por lo tanto, es conveniente:

- Establecer el número de orificios cuando están presentes múltiples defectos. Se puede establecer por observación directa de los orificios, con el uso de radiología a través de la observación de residuos de disparo o usando la ley de Puppe (una línea de fractura secundaria cesará cuando se encuentra con una línea de fractura ya existente), que puede coadyuvar a determinar la secuencia de disparos y con esto el número de orificios de entrada y de salida (Dixon, 1984; Madea et al., 1988; Rhine et al., 1990). La presencia de fracturas concéntricas sin ningún orificio (no observables o destruidos) permite la sospecha de un traumatismo por proyectil (Quatrehomme et al., 2013).
- Acorde con la morfología de la lesión o a los patrones de fractura —en caso de pérdida ósea o ausencia de craterización (Smith et al., 1987)—, determinar si corresponde a un orificio de entrada o a uno de salida. Sin embargo, no todos los proyectiles generan orificios de salida.
- La dirección del disparo generalmente es recta entre los dos orificios (entrada - salida) (Pérez, 2016; Quatrehomme et al., 2013). Delaminaciones o craterizaciones asimétricas —principalmente en la entrada— podrían sugerir impactos angulares, permitiendo dilucidar la trayectoria del proyectil de manera macroscópica (Spitz, 2006) y microscópica (Rickman et



**Figura 8.** Diversidad de fracturas por impacto de PAF en cráneo

A) Fractura de estallido en juntas órbitas. B) Fractura en el hueso frontal que se detiene en la sutura coronal. C) Fractura en el hueso temporal izquierdo que compromete el meato auditivo. D) Fractura diastática en sutura metópica. E) Fractura en el hueso parietal izquierdo que proviene la entrada y modifica el defecto de salida.

Fuente: Mtra. Aurora Pérez

al., 2014) cuando el hueso es demasiado delgado para impedir la formación de la craterización. Sin embargo, se debe ser cuidadoso entre la correlación: área de mayor craterización y dirección del proyectil, como se mencionó anteriormente.

- d. En el cráneo, algunos proyectiles pueden alojarse al interior. Por lo tanto, se deben examinar las lesiones internas para determinar si el proyectil impactó internamente y se reorientó. Asimismo, se deben observar las estructuras óseas adyacentes como vértebras cervicales, arcos costales, hioídes, clavículas, escápulas y esternón, entre otras; pues es común que impactos en la región facial u otras regiones resulten en fracturas de estas áreas, indicando la trayectoria de la salida o de la entrada. Se debe ser cuidadoso en la observación de orificios en el esqueleto poscraneal, pues variantes anatómicas podrían mimetizar un trauma por impacto de PAF, por ejemplo, la presencia del foramen external.
- e. Los márgenes de los orificios de entrada o de salida o las áreas de hueso impactadas por un proyectil pueden identificarse a partir de los fragmentos de metal que se adhiere o tiñen el hueso. Esto podrían ser un buen indicador para establecer la dirección del proyectil (Berryman et al., 1998).

## CONSIDERACIONES FINALES

Como se ha visto a lo largo del capítulo, la identificación y análisis de los traumatismos por impacto de PAF requiere de la comprensión de múltiples factores. En el ámbito forense, esto ha conducido a la implementación de enfoques multidisciplinares, que incluyen tanto al patólogo o médico forense como al antropólogo y al experto balístico. Asimismo, dada la relación tan cercana que tienen este tipo de trauma con los factores sociales que producen y transforman la violencia armada; cada vez son más las interpretaciones que incluyen datos epidemiológicos derivados de

los observatorios de violencia local. Este trabajo interdisciplinario, ha permitido llevar el análisis de la lesión ósea al terreno del contexto en donde interactúan las armas, las víctimas y los victimarios, logrando resultados verificables y fiables que puedan ser usados durante el proceso judicial como material probatorio.

Sin embargo, no es de sorprender que este tipo de trauma este lejos de explicarse completamente. La rapidez con la cual los escenarios de violencia cambian y con la que la industria armada desarrolla nuevas armas y nuevos proyectiles, deja un espacio de incertidumbre al momento del análisis. Creemos que es un campo que tiene un gran potencial y que futuras investigaciones enfocadas en la morfología de los traumatismos y sus variantes, en los patrones de fracturación y la relación biomecánica del hueso ante el impacto y, en la documentación de estudios de caso en conflictos armados y violencia urbana; proporcionarían a los investigadores forenses mayores herramientas para el análisis.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Mirsha Quinto y al Dr. Jorge Gómez, editores de esta obra, por invitarnos a participar en este proyecto. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado para realizar la investigación de donde se desprende este capítulo. Al Mtro. Edgar Bernal y al Antropólogo Emanuel Rodríguez adscritos al Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF), así como al Mtro. Saíd Hernández adscrito a la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH), por los comentarios y aportes de las versiones anteriores de este trabajo. Al Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF) en Bogotá, Colombia, en especial al Dr. César Sanabria Medina por gestionar el espacio de la Colección Ósea Humana de Referencia para Población Colombiana (COHRPC) y permitir la realización del análisis osteológico de donde se derivan las fotografías incluidas en este capítulo.

## REFERENCIAS CITADAS

- Arriaga, P., & Roldán, M. (2017). Armas de fuego en México: panorama en 2016. En R. Benítez Manaut & S. Aguayo Quezada (Eds.), *Atlas de la Seguridad y la Defensa de México 2016* (pp. 159–166). Ciudad de México, México: Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República.
- Arroyo, H., Ybaseta, M., & Pariona, J. (2011). Herida en cavidad oral por proyectil de arma de fuego con trayecto

- de salida inusual. *Acta Médica Peruana*, 28(3), 155–158.
- Baik, S., Uku, J., & Sikirica, M. (1991). A case of external beveling with an entrance gunshot wound to the skull made by a small caliber rifle bullet. *American Journal of Forensic Medicine & Pathology*, 12(4), 334–336.
- Bankoff, A. D. P. (2012). Biomechanical characteristics of the bone. En D. T. Goswami (Ed.), *Human Musculoskeletal Biomechanics* (pp. 61–86). Rijeka, Croatia: InTech.
- Berry, A., & Berry, R. (1967). Epigenetic variation in the human cranium. *Journal of Anatomy*, 101(2), 361.
- Berryman, H., & Haun, S. (1996). Applying forensic techniques to interpret cranial fracture patterns in an archaeological specimen. *International Journal of Osteoarchaeology*, 6(1), 2–9
- Berryman, H., & Gunther, W. (2000). Keyhole defect production in tubular bone. *Journal of Forensic Science*, 45(2), 483–487.
- Berryman, H., Smith, O., & Symes, S. (1995). Diameter of cranial gunshot wounds as a function of bullet caliber. *Journal of Forensic Science*, 40(5), 751–754.
- Berryman, H., & Symes, S. (1998). Recognizing gunshot and blunt cranial trauma through fracture interpretation. En K. J. Reichs (Ed.), *Forensic Osteology: advances in the Identification of Human Remains* (p. 333 a 351). EE.UU: Charles C. Thomas.
- Bhoopat, T. (1995). A case of internal beveling with an exit gunshot wound to the skull. *Forensic Science International*, 71(2), 97–101.
- Bir, C. (2015). Ballistic Injury Biomechanics. En N. Yoganandan, M. A. Nahum, & W. J. Melvin (Eds.), *Accidental Injury: biomechanics and prevention* (pp. 829–839). New York, NY: Springer New York.
- Bono, C., & Heary, R. (2004). Gunshot wounds to the spine. *The Spine Journal*, 4(2), 230–240.
- Calce, S., & Rogers, T. (2007). Taphonomic changes to blunt force trauma: a preliminary study. *Journal of Forensic Science*, 52(3), 519–527.
- Campos, I. (2014). Introducción al análisis antropológico de lesiones por proyectiles de arma de fuego y explosivos en hueso. En N. Téllez (Ed.), *Patología forense: un enfoque centrado en Derechos Humanos (INMLCF-In, Vol. 2*, pp. 133–152). Bogotá, Colombia.
- Carod, F., & Vázquez, C. (2004). Paleopatología neurológica en las culturas precolombinas de la costa y el altiplano andino (II). Historia de las trepanaciones craneales. *Revista de Neurología*, 38(9), 886–894.
- Cappella, A., Castoldi, E., Sforza, C., & Cattaneo, C. (2014). An osteological revisitacion of autopsies: comparing anthropological findings on exhumed skeletons to their respective autopsy reports in seven cases. *Forensic Science International*, 244(0), 315.e1-315.e10.
- Coe, J. (1982). External beveling of entrance wounds by handguns. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 3(3), 215–219.
- Conrado-Rodríguez, M. (2006). Identification and Differential Diagnosis of Traumatic Lesions of the Skeleton. En A. Schmitt, E. Cunha, & J. Pinheiro (Eds.), *Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences From Recovery to Cause of Death* (pp. 197–221). Totowa, NJ: Humana Press.
- Currey, J. D. (2013). *Bones: Structure and Mechanics*. EE.UU: Princeton University Press.
- Degirmenci, E. (2015). Effects of grain size and temperature of double base solid propellants on internal ballistics performance. *Fuel*, 146, 95–102.
- De la Grandmaison, G. L., Brion, F., & Durigon, M. (2001). Frequency of bone lesions: an inadequate criterion for gunshot wound diagnosis in skeletal remains. *Journal of Forensic Science*, 46(3), 593–595.
- Delannoy, Y., Colard, T., Becart, A., Tournel, G., Gosset, D., & Hedouin, V. (2013). Typical external skull beveling wound unlinked with a gunshot. *Forensic Science International*, 226(1), e4–e8.
- Delannoy, Y., Colard, T., Le Garff, E., Mesli, V., Aubernon, C., Penel, G., ... Hedouin, V. (2016). Effects of the environment on bone mass: A human taphonomic study. *Legal Medicine*, 20, 61–67.
- DiMaio, V. (1999). *Gunshot wounds: practical aspects of firearms, ballistics and forensic techniques*. Florida, EE.

UU: CRC press.

- Dixon, D. (1982). Keyhole lesions in gunshot wounds of the skull and direction of fire. *Journal of Forensic Science*, 27(3), 555–566.
- Dixon, D. (1984). Pattern of intersecting fractures and direction of fire. *Journal of Forensic Science*, 29(2), 651–654.
- Dodd, M. (2005). *Terminal Ballistics: A Text and Atlas of Gunshot Wounds*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Fackler, M. (1986). Ballistic injury. *Annals of Emergency Medicine*, 15(12), 1451–1455.
- Fackler, M. (1988). Wound ballistics: a review of common misconceptions. *Jama*, 259(18), 2730–2736.
- Faller-Marquardt, M., Bohnert, M., & Pollak, S. (2004). Detachment of the periosteum and soot staining of its underside in contact shots to the cerebral cranium. *International Journal of Legal Medicine*, 118(6), 343–347.
- Farhat, H., Hood, B., & Bullock, M. (2012). A tangential gunshot wound to the head: case report and review of the literature. *Journal of Emergency Medicine*, 43(2), e111–4.
- Fenton, T., Stefan, V., Wood, L., & Sauer, N. (2005). Symmetrical fracturing of the skull from midline contact gunshot wounds: reconstruction of individual death histories from skeletonized human remains. *Journal of Forensic Science*, 50(2), 274–285.
- Frazer, M. (1987). An unusual pattern of gunshot injury linking two homicides to the same assailant. *Journal of Forensic Sciences*, 32(1), 262–265.
- Galloway, A., & Wedel, V. (2014). The biomechanics of fracture production. En A. Galloway & V. Wedel (Eds.), *Broken Bones: Anthropological Analysis of Blunt Force Trauma* (pp. 33–40). Springfield, Illinois: Charles C. Thomas Publisher, Limited.
- Geneva Declaration Secretariat, G. (2015). *Global Burden of Armed Violence 2015: Every Body Counts*. Geneva, Switzerland: Cambridge University Press.
- Gurdjian, E. S., Webster, J. E., & Lissner, H. R. (1953). Observations on prediction of fracture site in head injury. *Radiology*, 60(2), 226–235.
- Hackett, C. (2013). *Diagnostic criteria of syphilis, yaws and treponarid (treponematoses) and of some other diseases in dry bones: for use in osteoarchaeology*. Londres, Inglaterra: Springer Berlin Heidelberg.
- Haglund, W. (1992). Contribution of rodents to postmortem artifacts of bone and soft tissue. *Journal of Forensic Science*, 37(6), 1459–1465.
- Harada, K., Kuroda, R., Nakajima, M., Takizawa, A., & Yoshida, K. (2012). An autopsy case of a decomposed body with keyhole gunshot wound and secondary skull fractures. *Legal Medicine*, 14(5), 255–257.
- Hart, G. (2005). Fracture pattern interpretation in the skull: differentiating blunt force from ballistics trauma using concentric fractures. *Journal of Forensic Science*, 50(6), 1276–1281.
- Heard, B. (2008). Ballistics. En B. Heard (Ed.), *Handbook of Firearms and Ballistics* (pp. 101–143). EE.UU: John Wiley & Sons, Ltd.
- Hollerman, J., Fackler, M., Coldwell, D., & Ben, Y. (1990). Gunshot wounds: 1. Bullets, ballistics, and mechanisms of injury. *American Journal of Roentgenology*, 155 (4), 685–690.
- Jackson, A., Searcey, B., Smirniotopoulos, J., & Folio, L. (2008). Keyhole fracture of the skull. *Military Medicine Radiology Corner*, 173(12), xix–xx.
- Jenkins, D. (2011). The Effects of Bullets. En J. Brooks, J. Clasper, M. Midwinter, J. Hodgetts, & F. Mahoney (Eds.), *Ryan's Ballistic Trauma: A Practical Guide* (pp. 37–40). London: Springer London.
- Kanz, F., & Grossschmidt, K. (2006). Head injuries of Roman gladiators. *Forensic Science International*, 160(2–3), 207–216.
- Karger, B. (2009). Forensic ballistics. En M. Tsokos (Ed.), *Forensic pathology reviews* (Vol. 5, pp. 139–172). EE.UU: Springer.
- Katzen, J., Jarrahy, R., Eby, J., Mathiasen, R., Margulies, D., & Shahinian, H. (2003). Craniofacial and skull base

- trauma. *Journal of Trauma*, 54(5), 1026–1034.
- Khare, G., Gautam, V., Gupta, L., & Gupta, A. (1995). A new hypothesis for faster healing of fractures in head injured patients. *Indian Journal of Medical Science*, 49(12), 281–284.
- Kennedy, T., Avey, G., & Gentry, L. (2014). Imaging of temporal bone trauma. *Neuroimaging Clinics of North America*, 24(3), 467–86, viii.
- Kieser, J., Tahere, J., Agnew, C., Kieser, D., Duncan, W., Swain, M., & Reeves, M. (2011). Morphoscopic analysis of experimentally produced bony wounds from low-velocity ballistic impact. *Forensic Science Medical Pathology*, 7(4), 322–332.
- Kieser, J., Taylor, M., & Carr, D. (2013). *Forensic Biomechanics*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Kihtir, T., Ivatury, R. R., Simon, R. J., Nassoura, Z., & Leban, S. (1993). Early management of civilian gunshot wounds to the face. *The Journal of Trauma*, 35(4), 567–569.
- Kimmerle, E. H., & Baraybar, J. P. (2011). Traumatismos Óseos. Lesiones ocasionadas por violaciones a los Derechos Humanos y conflictos armados. Jesús Maria, Lima: SINCO Editores S.A.C.
- Kirchner, H. (2006). Ductility and brittleness of bone. *International Journal of Fracture*, 139(3), 509–516.
- Kneubuehl, B., Coupland, R., Rothschild, M., & Thali, M. (2011). *Wound ballistics: basics and Applications* (1a ed.). Alemania: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kroman, A., Kress, T., & Porta, D. (2011). Fracture propagation in the human cranium: a re-testing of popular theories. *Clinical Anatomy*, 24(3), 309–318.
- Kuchta, J., & Klug, N. (2009). Multiple cranial gunshot injuries without skull penetration. *Journal of Forensic Legal Medicine*, 16(3), 159–161.
- LeCount, E., & Apfelbach, C. (1920). Pathologic anatomy of traumatic fractures of cranial bones and concomitant brain injuries. *Journal of the American Medical Association*, 74(8), 501–511.
- Lee, K., & Opekin, K. (1995). Gunshot suicide with nasal entry. *Forensic Science International*, 71(1), 25–31.
- López, F., Martínez, F., Herrera, A., Sánchez, M., Torres, P., Palacios, I., & Poza, M. (2000). Penetrating craniocerebral injury from an underwater fishing harpoon. *Child's Nervous System*, 16(2), 117–119.
- Madea, B., & Staak, M. (1988). Determination of the sequence of gunshot wounds of the skull. *Journal of the Forensic Science Society*, 28(5), 321–328.
- Magaña, I., Torres, J., García, L., & Núñez, O. (2011). Conceptos básicos de balística para el Cirujano General y su aplicación en la evaluación del trauma abdominal. *Cirujano general*, 33, 48–53.
- Manzano, J., Guerrero, M. G., & Arcaute, F. (2001). Balística: Balística de efectos o balística de las heridas. *Cirujano general*, 23(4–2001), 266–272.
- McEvoy, C., & Hidge, G. (2017). *Global Violent Deaths: time to decide*. Small Arms Survey. Swiss Agency for Development and Cooperation. Ginebra, Suiza.
- Mederos, D., & Bazán, N. (2011). Orificios de entrada atípicos por proyectil de arma de fuego en cráneo. *Cuadernos de Medicina Forense*, 17, 35–38.
- Ministrini, S., Baiocchi, G., Pittiani, F., Lomiento, D., Gheza, F., & Portolani, N. (2015). Gunshot wound without entrance hole: where is the trick? A case report and review of the literature. *World Journal of Emergency Surgery*, 10, 52–56.
- Moraitis, K., & Spiliopoulou, C. (2010). Forensic implications of carnivore scavenging on human remains recovered from outdoor locations in Greece. *Journal of Forensic Legal Medicine*, 17(6), 298–303.
- Pérez, A. M. (2016). Modelo para la identificación y análisis de traumatismos óseos craneales por impacto de proyectil de arma de fuego. Tesis. Posgrado de Antropología Física. Nivel Maestría. Escuela Nacional de Antropología e Historia ENAH.
- Peterson, B. (1991). External beveling of cranial gunshot entrance wounds. *Journal of Forensic Science*, 36(5), 1592–1595.

- Pollak, S., & Saukko, P. J. (2013). Gunshot wounds. En J. Siegel & S. Pekka (Eds.), *Encyclopedia of forensic sciences* (Segunda Ed, pp. 70–82). Elsevier Ltd.
- Pope, E., & Smith, O. (2004). Identification of traumatic injury in burned cranial bone: an experimental approach. *Journal of Forensic Science*, 49(3), 431–440.
- Quatrehomme, G., & Alunni, V. (2013). Bone Trauma . En J. Siegel, P. Saukko, & M. Houck (Eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (Second Edi, pp. 89–96). New York, EE.UU: Academic Press.
- Quatrehomme, G., & İşcan, M. Y. (1997a). Beveling in exit gunshot wounds in bones. *Forensic Science International*, 89(1–2), 93–101.
- Quatrehomme, G., & İşcan, M. Y. (1997b). Postmortem skeletal lesions. *Forensic Science International*, 89(3), 155–165.
- Quatrehomme, G., & İşcan, M. Y. (1998a). Analysis of beveling in gunshot entrance wounds. *Forensic Science International*, 93(1), 45–60.
- Quatrehomme, G., & İşcan, M. Y. (1998b). Gunshot wounds to the skull: Comparison of entries and exits. *Forensic Science International*, 94(1), 141–146.
- Quatrehomme, G., & İşcan, M. Y. (1999). Characteristics of gunshot wounds in the skull. *Journal of Forensic Science*, 44(3), 568–576.
- Reber, S. L., & Simmons, T. (2015). Interpreting injury mechanisms of blunt force trauma from butterfly fracture formation. *Journal of Forensic Sciences*, 60(6), 1401–1411.
- Reginelli, A., Russo, A., Maresca, D., Martiniello, C., & Cappabianca, S. (2014). Imaging assessment of gunshot wounds. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, 36(1), 57–67.
- Reilly, D., & Burstein, A. (1975). The elastic and ultimate properties of compact bone tissue. *Journal of Biomechanics*, 8(6), 393–405.
- Rhine, J., & Curran, B. (1990). Multiple gunshot wounds of the head: an anthropological view. *Journal of Forensic Science*, 35(5), 1236–1245.
- Rickman, J., & Smith, M. (2014). Scanning electron microscope analysis of gunshot defects to bone: an underutilized source of information on ballistic trauma. *Journal of Forensic Science*, 59(6), 1473–1486.
- Ruiz, J., & Paiz, J. (2007). *Heridas por proyectiles de armas de fuego*. Ciudad de México, México: Editorial Alfil.
- Sanabria, C., Coello Hidalgo, J. E., & Osorio Restrepo, H. (2016). Traumatismos óseos por impacto de proyectil de arma de fuego. En C. sanabria Medina (Ed.), *Patología y antropología forense de la muerte: la investigación científico- judicial de la muerte y la torturta, desde las fosas clandestinas, hasta la audiencia pública* (Forensic P, pp. 571–625). Bogotá, Colombia: Forensic Publisher.
- Sánchez, F., Domínguez, M., Alama, S., Merino, M., & Sánchez, M. (2010). Muerte por proyectil de arma de fuego con orificio de entrada natural. *Cuadernos de Medicina Forense*, 16, 171–174.
- Santucci, R., & Chang, Y. (2004). Ballistics for physicians: myths about wound ballistics and gunshot injuries. *Journal of Urology*, 171(4), 1408–1414.
- Shattock, S. (1923). The disruptive phenomena in gunshot injuries: their physics. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 16(Pathology Section), 47–118.
- Shkrum, M., & Ramsay, D. (2007). *Forensic pathology of trauma: Common Problems for the Pathologist*. EE.UU: Humana Press Inc.
- Smith, O., Berryman, H., Symes, S., Francisco, J., & Hnilica, V. (1993). Atypical gunshot exit defects to the cranial vault. *Journal of Forensic Science*, 38(2), 339–343.
- Smith, O., Brian, C., Lahren, C., & Berryman, H. (1987). Cranial fracture patterns and estimate of direction from low velocity gunshot wounds. *Journal of Forensic Science*, 32(5), 1416–1421.
- Smith, O., Pope, E. J., y Symes, S. A. (2003). Look until you see: identification of trauma in skeletal material. En D. W. Steadman (Ed.), *Hard evidence: case studies in forensic anthropology* (pp. 138–154). EE.UU: Pearson

Education Inc.

- Spitz, W. (2006). Injury by Gunfire. Part 1: Gunshot Wounds. En W. Spitz & D. Spitz (Eds.), *Spitz and Fisher's Medicolegal Investigation of Death: Guidelines for the Application of Pathology to Crime Investigation* (pp. 607–705). EE.UU: Charles C. Thomas.
- Stefanopoulos, K., Hadjigeorgiou, F., Filippakis, K., & Gyftokostas, D. (2014). Gunshot wounds: a review of ballistics related to penetrating trauma. *Journal of Acute Disease*, 3(3), 178–185.
- Symes, S., L'Abbé, E., Chapman, I. W., & Dennis, D. (2012). Interpreting traumatic injury to bone in medicolegal investigations. En D. Dennis (Ed.), *A Companion to Forensic anthropology* (pp. 340–389). Blackwell Publishing Ltd.
- Thali, M., Kneubuehl, B., Dirnhofer, R., & Zollinger, U. (2002). The dynamic development of the muzzle imprint by contact gunshot: high-speed documentation utilizing the “skin-skull-brain model”. *Forensic Science International*, 127(3), 168–173.
- Tsokos, M. (2011). Heat-induced post-mortem defect of the skull simulating an exit gunshot wound of the calvarium. *Forensic Science Medical & Pathology*, 7(2), 227–228.
- Vance, B. (1927). Fractures of the skull: complications and causes of death: a review of 512 necropsies and of 61 cases studied clinically. *Archives of Surgery*, 14(5), 1023–1092.
- Vellema, J., & Scholtz, H. (2011). Forensic Aspects of Ballistic Injury. En A. Brooks, J. Clasper, M. Midwinter, T. Hodgetts, & P. Mahoney (Eds.), *Ryan's Ballistic Trauma* (pp. 149–175). EE.UU: Springer.
- Waldron, T. (2009). Infectious diseases. En *Paleopathology* (pp. 83–117). Cambridge, UK.
- Wescott, D. (2013). Biomechanics of Bone Trauma. En J. Siegel, P. Saukko, & M. Houck (Eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (2nd editio, pp. 83–88). New York, EE.UU: Academic Press.
- Yoganandan, N., y Pintar, F. (2004). Biomechanics of temporo-parietal skull fracture. *Clinical Biomechanics*, 19(3), 225–239.



# Osteopatología Forense

Albertina Ortega Palma<sup>1</sup>

Jesús Agustín Luy Quijada<sup>2</sup>

Palabras clave: identificación, individualizante, antemortem, postmortem

## RESUMEN

El objetivo del presente texto es hacer notar la importancia de las lesiones derivadas de procesos patológicos, que pueden constituirse en información de gran utilidad en el proceso de identificación humana. Particularmente, en aquellos casos en donde no es posible emplear otros procedimientos de identificación como el cotejo de huellas dactilares, rasgos dentales o análisis de información genética (ADN), y podrá dársele el mismo valor de probabilidad, dependiendo tanto de la casuística con que se presenta la variante u osteopatología localizada, así como la cantidad y calidad de la información antemortem de cotejo que se recabe.

Debido a la diversidad de patologías se proporciona una clasificación basada en el proyecto *Digitized Diseases* que presenta una estructura clasificatoria en distintas categorías de enfermedades de manera clara y sencilla con la finalidad de que el antropólogo forense conozca de las alteraciones que en cada grupo se presenta, asimismo se hace hincapié en el registro de las lesiones para no confundirlos con rasgos discretos o variantes anatómicas, ni alteraciones tafonómicas. Finalmente, todo proceso de identificación conlleva un proceso comparativo, sino existe información ante-mortem de un cadáver con cual relacionar y comparar; no es posible el establecimiento de la identidad positiva, por ello se menciona la información que resulta útil para estos casos.

## ABSTRACT

The objective is to highlight the importance of lesions derived from pathological processes, which can be very useful information in the human identification process. In particular, in those cases where it is not possible to use other identification procedures such as the comparison of fingerprints, dental traits or analysis of genetic information (DNA), and it can be given the same probability value, depending both on the casuistry with which the variant or localized osteopathy is presented, as well as the quantity and quality of the ante-mortem comparison information that is collected.

1 Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), tinaorpa@hotmail.com

2 Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México (PGJCDMx)

Due to the diversity of pathologies, a classification is provided based on the Digitised Diseases project, which presents a clear and simple classification structure in different categories of diseases so that the forensic anthropologist is aware of the alterations presented in each group. Emphasis is also placed on recording the lesions and not confusing them with discrete features or anatomical variants, or taphonomic. Finally, every identification process involves a comparative process, otherwise there is ante-mortem information on a corpse to link and compare with; it is not possible to establish a positive identity. Therefore, the information that is useful for these cases is mentioned.

## INTRODUCCIÓN

En el proceso de identificación de restos óseos o cadáveres considerados como desconocidos, independientemente de su estado de transformación o conservación, los expertos forenses de distintas disciplinas recolectan información de individualización, de muy diversa índole que es susceptible de analizar. A pesar de que los datos sobre el perfil biológico (es decir edad, sexo, ascendencia biológica o ancestría y estatura) que se obtienen a través de los análisis practicados por los antropólogos forenses son muy confiables; éstos por sí solos son insuficientes para llegar a establecer la identificación de un cadáver.

Para ello, el hallazgo de características biológicas o anatómicas únicas de individualización en los huesos, como lo son las variantes anatómicas normales y las lesiones derivadas de procesos patológicos, pueden constituirse en información de gran utilidad para discernir en el proceso de identificación. Así, los hallazgos de variantes anatómicas e información osteopatológica obtenida en los procesos de análisis de restos óseos o cadáveres por los antropólogos forenses, son de gran utilidad para discriminar o asociar, en aquellos casos en donde no es posible emplear otros procedimientos de identificación como el cotejo de huellas dactilares, rasgos dentales o análisis de información genética (ADN), y podrá dársele el mismo valor de probabilidad, dependiendo tanto de la casuística con que se presenta la variante u osteopatología localizada, así como la cantidad y calidad de la información antemortem de cotejo que se recabe.

La correspondencia de una alteración patológica o lesión observable en hueso asociada con un evento traumático en vida puede fortalecer el proceso de identificación, así como la aceptación por la familia o amigos de que se trata de la persona que se busca. Por ejemplo, una persona que de acuerdo a la información antemortem recolectada indican sufrió una fractura en los huesos del antebrazo derecho, próxima a la muñeca, por una caída en su adolescencia y a conse-

cuencia de ello presentó una limitada movilidad, y en los restos localizados se encuentra una pseudoarticulación (una articulación extra por falta de osificación) en el tercio distal de los huesos cúbito y radio derivada de fractura transversal y desplazamiento del eje longitudinal de éstos huesos, esta información además de la correspondencia del perfil biológico, y los hallazgos de la detención, fortalecerá la hipótesis de considerar el caso como una identificación positiva.

Existen muy diversos reportes en la historia de la investigación forense, sobre la utilidad de hallazgos de orden osteopatológico en restos óseos o cadáveres. Un buen ejemplo es un caso reportado por uno de los pioneros de la antropología forense en Estados Unidos el Dr. William R. Maples publicado en 1984, en la obra editada por Ted Rathbun y Jane Buikstra *Human Identification. Case Studies in Forensic Anthropology*, en el que el Dr. Maples ya hacía énfasis en la importancia de los hallazgos de osteopatología en el proceso de identificación; así como de la importancia del trabajo interdisciplinario del médico y el antropólogo físico en el contexto legal; de la necesidad del amplio conocimiento que el antropólogo forense debe tener de procesos de las diversas osteopatologías que es posible identificar y considerar ir más allá del solo reporte de las alteraciones osteopatológicas; así como, en algunos casos correlacionar los hallazgos con síntomas que la familia o cercanos a la persona podrían reportar como características de individualización que no son documentadas por falta de reportes médicos específicos.

En el caso referido por el Dr. Maples, señaló que, en 1970, analizó una osamenta de un hombre pelirrojo de edad avanzada de aproximadamente 90 años, de 1.70 a 1.76 m de estatura, localizada en una carretera de Florida. En su análisis detectó una serie de lesiones degenerativas en la columna vertebral consecuentes con la edad y dos antiguas fracturas cicatrizadas, una en metatarso y otra, en falange del pie izquierdo, no encontrando otro aspecto útil para la identificación, a excepción de un área patológica verdaderamente distintiva en el hueso temporal dere-

cho: el meato auditivo externo fue reemplazado por una abertura mucho más grande con márgenes suaves que abarcó parte de la mastoides. Lesiones características de un colesteatoma, tumor benigno del tejido cutáneo asociado a infecciones de las vías respiratorias superiores. Lo que debió provocar como signos la pérdida de audición y un drenaje maloliente. Lo cual, durante su análisis antropológico forense fue registrado y se hizo notar que esto mismo podría haber sido asentado en su historial médico en vida, aunado a un período de pérdida de equilibrio y vértigo.

Años después, el Dr. Maples regresó al poblado y le informaron del caso en el que había intervenido; el cuerpo fue identificado como un hombre de 85 años desaparecido en el año de 1970, que había quedado un poco sordo, porque en 1952 había tenido una terapia en su oreja derecha para removerle cáncer de piel. En su reporte como desaparecido, se señalaba que no escuchaba bien del lado derecho y su oreja supuraba con mal olor lo que incluso provocaba que las personas se alejaran de él. De esta forma el hombre fue identificado por un jurado, debido a dicha característica y a la coincidencia de los otros rasgos del perfil biológico.

Como ya se señaló, la identificación de cadáveres en el contexto legal o forense es un proceso de análisis comparativo, entre dos fuentes de información o conjuntos de variables, en donde por un lado se tiene la información susceptible de obtener de la persona en vida — denominada *antemortem*— y la que es posible de obtener de los cadáveres — denominada *post-mortem*—. Establecer la identificación de un cadáver, es generalmente el factor desencadenante de la secuencia exitosa de una investigación.

La identificación es entonces una verificación legal, basada en la comprobación científica bajo las metodologías aportadas por diversas disciplinas como medicina, odontología, genética, dactiloscopia y antropología. Todas parten del hecho de que todos los seres humanos poseemos una serie de rasgos particulares que nos individualizan de los demás, algunos con un fuerte sustrato en la herencia y expresividad de las características y otros como consecuencia de eventos externos como lo son lesiones patológicas, eventos traumáticos o quirúrgicos, entre otros. Además, es importante considerar las circunstancias del evento en las que se han producido las muertes, como lo son el denominado “ambiente cerrado” (Etxeberria, 2012), en el que la investigación parte de un conjunto finito de

probabilidades, circunstancia que puede suceder en un accidente aéreo, en donde se cuenta con listados de nombres tanto de la tripulación como de los pasajeros. Mientras que, en un ambiente infinito o abierto, por ejemplo, una inhumación ilegal (fosa clandestina) sin previa hipótesis de quienes pudieron ser inhumados en ella, la situación se complica.

Igualmente consideramos que es necesario indicar la importancia que tiene el conocimiento de la anatomía osteopatológica y efectuar diagnósticos para la identificación de procesos patológicos, en aquellos casos complejos en donde existe multifragmentación o segmentación de los restos, en donde la información recabada en este tema puede ser relevante tanto para estimar las características del perfil biológico, si consideramos por ejemplo las asociaciones existentes entre edad y sexo con tipo de patología, así como para efectuar asociación entre distintos segmentos o huesos afectados por individuo.

Además de la información osteopatológica, es importante considerar aquellos casos en donde lo avanzado del proceso patológico identificado (por ejemplo tumores) y la ausencia de indicios de lesiones traumáticas, puede servir al médico forense para determinar la muerte por causas naturales y no por un evento externo violento; lo cual, asociado al análisis integral de las evidencias asociadas, la autoridad pueda descartar una investigación por homicidio, suicidio o accidente (Iscan y Steyn, 2013; DiMaio y DiMaio, 2001).

## LESIONES PATOLÓGICAS

Las lesiones o alteraciones pueden ser de origen genéticas, congénitas o adquiridas a lo largo de la vida por un evento traumático, una infección o un desorden, y pueden ser consideradas como manifestaciones de un proceso de enfermedad. La enfermedad desde un punto de vista biomédico es la desviación o alteración de lo considerado normal en el funcionamiento del organismo. En este sentido, la enfermedad puede generar un sinnúmero de condiciones anormales en el sistema biológico humano, que en ocasiones puede comprometer el tejido óseo, produciendo alteraciones que deben ser abordadas por especialistas que las analicen macro y microscópicamente para establecer su etiología.

Las alteraciones pueden corresponder a causas distintas, sin embargo, las formas de reacción del hueso son muy limitadas, produciendo cambios de sólo tres tipos: *proliferativos*, *líticos* y *deformantes* (Ortner, 2003). Las primeras están caracterizadas por la deposición o neoformación de hueso, las segundas por la necrosis con eventual pérdida de tejido óseo, y finalmente, las deformantes que conducen al cambio de la estructura original del hueso y provocan un cambio en la forma y/o tamaño; cada una responde a una o varias condiciones patológicas. Asimismo, la combinación de ellas puede darse en un sólo proceso patológico, lo que tiende a complicar la interpretación de la lesión, así como el diagnóstico, particularmente cuando el esqueleto está incompleto o con alteraciones de tipo tafonómico, lo cual es común y prácticamente una constante en los casos forenses.

De acuerdo con Ortner (2003) el estudio macroscópico de las alteraciones o lesiones del esqueleto inicia con la localización de variaciones en la anatomía normal del hueso, como una evidencia inicial de que estamos ante un proceso patológico, el cual puede expresarse en el hueso con las siguientes variantes: 1) formación anormal, 2) destrucción anormal, 3) densidad anormal, 4) tamaño anormal y 5) forma anormal; expresiones que pueden ocurrir de forma aislada en una enfermedad o en combinación de ellas.

Siguiendo a este mismo autor, la manifestación anatómica de una estructura ósea patológica, analizable tanto macro como microscópicamente, puede ubicarse en una o más de las siguientes categorías que tienen sus raíces en alguna anomalía de la actividad de las células óseas: 1) formación anormal de hueso, 2) destrucción anormal de hueso, 3) errores en la formación o reemplazo de hueso y 4) errores en la destrucción del hueso.

Cuando en el ámbito forense se examina un esqueleto o una estructura ósea en particular con fines de identificación, ello debe hacerse con precaución, es decir, analizando toda la información disponible, pues no todas las enfermedades afectan el esqueleto o no cuentan con el tiempo necesario para manifestarse, por lo que, en este caso, “la ausencia de evidencia no es evidencia de ausencia” (Cunha y Pinheiro, 2013:76). Así como, considerarse su cronología, sus manifestaciones, sus efectos en la vida cotidiana, y de ser necesario, la reconstrucción de los eventos que las hicieron posibles.

Las patologías de utilidad para el proceso de identificación son las condiciones “raras” o poco comunes, debido a su baja frecuencia y reducida probabilidad de repetición en una población abierta contribuyendo así a la individualización; o algunas otras que si bien son comunes dejan lesiones o alteraciones morfológicas únicas, por ejemplo la expresión de los osteofitos en la osteoartritis con formas y distribución en la mayoría de los casos única para cada individuo, que en caso de existir imágenes radiográficas antemortem recientes, puedan efectuarse análisis morfo-compartivos y contribuir a una identificación positiva. También son valiosas diversas condiciones patológicas que son de fácil reconocimiento, tanto por los especialistas forenses como de los familiares (Cunha y Pinheiro, 2013) como sucede con el paladar hendido, la craneosinostosis (cierre prematuro de suturas craneales que producen alteraciones en la morfología normal craneal y facial) o displasias como la acondroplasia (enanismo).

## LAS PATOLOGÍAS

Debido a la diversidad de patologías y la poca variación de expresión que el hueso puede presentar, una entidad patológica o enfermedad puede provocar cambios similares en la morfología ósea, lo que complica la clasificación de estas. Algunos autores como, Christensen et al., (2014) y Chirstensen y Passalacqua (2018) y el mismo Ortner (2003) hacen una clasificación a partir del tipo de cambio que se presenta, es decir, las separan en proliferativas, líticas y deformantes.

Sin embargo, se considera de mejor utilidad la división aportada por el proyecto *Digitised Diseases* que presenta una estructura clasificatoria en distintas categorías de enfermedades de manera clara y sencilla. Agrupa a las lesiones en enfermedades de desarrollo (hipoplasia, hiperplasia y displasia), traumática (accidental, intencional, quirúrgica, relacionada a actividad, patológica), infecciosa (específica –bacterial, micótica, viral y parasitaria- y no específica), neoplasias (benigno y maligno), degenerativas, endocrinas, metabólicas, inmunológica, circulatoria y miscelánea (cfr. [www.digitiseddiseases.org](http://www.digitiseddiseases.org)).

Si bien, la finalidad del presente documento no es analizar la etiología de la enfermedad es importante que el antropólogo forense conozca de las alteraciones que en cada grupo

se presenta, y poder categorizar las lesiones que observa en cada uno de ellas, así como describir ampliamente la alteración observada, información con la cual pueda efectuarse un diagnóstico diferencial en primer lugar con la finalidad de identificar la entidad patológica a través de las características y estructuras afectadas, que pueda servir como información de soporte en la estructuración de la entrevista para la obtención de información antemortem.

### ENFERMEDADES DEL DESARROLLO

Este tipo de enfermedades son resultado de defectos congénitos del desarrollo de los tejidos blandos y/o del esqueleto en la vida fetal. Los factores pueden ser genéticos (hereditarios) o extraños, por ejemplo, una infección materna, administración de medicamentos o nutrición (Weiss, 2015).

Los defectos de desarrollo se describen patogénicamente como hipoplasias, en los que hay un crecimiento incompleto de un tejido corporal específico; hiperplasia, en los que hay

un crecimiento excesivo pero controlado de un tejido corporal específico; displasia, en los que el crecimiento de los tejidos es desorganizado y no se ajusta a la arquitectura y/o función normal del elemento corporal. Entre las displasias más conocidas está la acondroplasia, una anomalía en el desarrollo del crecimiento de hueso a través de modelo cartilaginoso, por tanto, se produce enanismo con un desarrollo normal de los huesos por crecimiento membranoso como los huesos del cráneo, dando una apariencia abombada del mismo con una base craneal reducida.

La espina bífida presente en la parte posterior del sacro es una hipoplasia, también común, particularmente en comunidades que han estado sometidas a cancerígenos como desinfectantes, plaguicidas, zonas mineras, entre otros (Brender *et al.*, 2010). Algunos otros son el Síndrome de Down que provocan alteraciones morfológicas. Otros más son: paladar hendido, malformaciones vertebrales, ausencias congénitas (figuras 1 y 2).



**Figura 1.** Huesos de la cintura pélvica en la que se aprecia sacralización de la quinta vértebra lumbar.

Probablemente esta persona padeció de dificultad de movimiento en la parte inferior del cuerpo y alteración en la columna vertebral, como escoliosis.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.** Cuarta y quinta vértebras lumbares con falta de cierre de las láminas posteriores

Defecto conocido como espondilólisis, con sacralización de la quinta lumbar. Generalmente no causa dolor ni síntomas.

Fuente: *Elaboración propia*

## LESIONES TRAUMÁTICAS

Es una lesión al tejido vivo causada por fuerzas externas o movimientos extremos y anormales. Las lesiones traumáticas esqueléticas consisten en fracturas y/o en secuelas óseas de luxaciones articulares.

### Dislocaciones

Una dislocación es el desplazamiento completo de los huesos del lugar funcional en una articulación. Las articulaciones comúnmente más afectadas son las sinoviales, particularmente en el hombro, la cadera, la mandíbula (temporomandibular), los dedos de las manos y de los pies, la

rodilla y la columna. Las dos causas principales de una dislocación articular son traumáticas y congénitas.

Si una articulación permanece dislocada, entonces es factible que una falsa articulación (pseudoartrosis) pueda desarrollarse, con la finalidad de restaurar algún grado de función en la extremidad afectada. Una pseudoartrosis es probable que sea severamente dolorosa, al no existir tejido articular entre los huesos y producirse fricción entre ellos, derivado de ello se ve afectado la actividad normal de los músculos, con disminución de la función del miembro afectado.

Las dislocaciones intervertebrales son particularmente peligrosas porque pueden causar daño a la médula espinal. Se puede presentar

lesión al nervio sensorial y/o motor dependiendo del segmento de la médula espinal que se dañe. Esto tendrá un efecto en las partes del cuerpo distales a la lesión, ya sea unilateral o bilateralmente. La dislocación de la vértebra cervical puede afectar a los nervios que controlan la función respiratoria y, por lo tanto, puede ser mortal.

Las dislocaciones sólo son visibles si la articulación no fue restaurada y ha habido un período de tiempo suficiente para que se desarrolle una pseudoartrosis. El daño asociado a los músculos y tendones puede causar osificación de estos tejidos blandos. El desuso de una extremidad puede resultar en atrofia relativa cuando se compara con el hueso contralateral. Una fractura cicatrizada puede ser el único signo de que ha habido una dislocación asociada. La osteoartritis puede ser el resultado de una función deficiente de la articulación después de una dislocación. Sin embargo, la mayoría de las luxaciones no dejan evidencia patológica a largo plazo ([digitiddiseases.org](http://digitiddiseases.org)).

## Fracturas

Cualquier hueso puede fracturarse, pero su tipo y daño, dependerá del mecanismo, dirección y magnitud de la fuerza externa. El resultado es una fractura simple (cerrada) o compuesta (abierta, interesando los tejidos blandos incluida la piel, con exposición al exterior y con un mayor riesgo de infección). Una fractura “complicada” puede involucrar estructuras vasculares, nerviosas, musculares y órganos a con potenciales cambios sensorial/debilidad muscular, hemorragia o daño/disfunción del órgano. Se le denomina fractura ‘conminuta’, cuando el hueso se fractura en varias partes.

Otros factores también pueden ser relevantes en la producción de las fracturas, como la edad del individuo y las enfermedades coexistentes específicas que pueden afectar la resistencia del tejido óseo (Weiss, 2015). En este sentido, los infantes pueden sufrir las denominadas fracturas en “tallo verde” en donde el hueso se dobla y sólo una parte se fractura porque el hueso es inmaduro y flexible. Los individuos activos pueden sufrir una fractura por ‘estrés’ como resultado de pequeños esfuerzos repetidos hasta que afectan la capacidad de resistencia en un punto en particular. Las fracturas “patológicas” se producen cuando el hueso pierde su resistencia por una enfermedad subyacente; por ejemplo, osteoporosis,

osteomalacia, raquitismo, enfermedad de Paget o tumores óseos.

## Síntomas y complicaciones

El síntoma principal de un hueso fracturado es el dolor. Esto se debe a la interrupción del período sensible. Dependiendo del hueso afectado, a veces puede producirse una hemorragia grave (por ejemplo, en el fémur) con el consiguiente colapso y la muerte; o los nervios pueden estar dañados, produciendo neuralgia (dolor nervioso) o disfunción nerviosa, ya sea de función sensorial o motora. Los problemas específicos están relacionados con el sitio de la fractura; sin embargo, muchas fracturas pueden no tener ningún efecto importante aparte del dolor, hasta que se produzca la cicatrización. El proceso de cicatrización puede verse obstaculizado por el movimiento del sitio fracturado, necrosis (muerte) de algunos fragmentos óseos, daño grave a los tejidos blandos, infección local, interposición de tejidos blandos entre los extremos fracturados del hueso y, en general, mala salud o personas de edad avanzada. Cuando una articulación está comprometida, esto puede resultar en osteoartritis de la articulación más cercana o incluso de una articulación distante si se produce una adaptación funcional (Waldron, 2009).

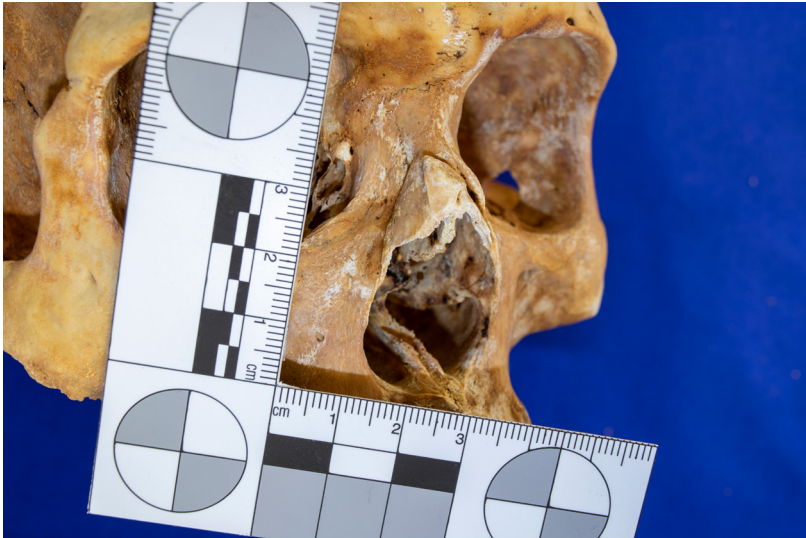
## Antemortem, perimortem y postmortem

En las investigaciones médico-forense, es importante establecer que lesiones sucedieron con anterioridad a la muerte, las cuales son muy útiles para el proceso de identificación de los cadáveres, por ello, nos centramos en estas.

El hueso con evidencia de que se encuentra en cualquier etapa del proceso de curación/remodelación, nos indica que presenta una fractura ante-mortem (figuras 3 y 4). Inicialmente se forma un callo blando para estabilizar el hueso; la remodelación del hueso se produce en unas pocas semanas con la formación de tejido óseo; en los meses siguientes se produce una nueva remodelación, reemplazando el tejido óseo blando por un hueso laminar fuerte.

De acuerdo con su origen, las fracturas las podemos clasificar de la siguiente manera:

- *Accidentales.* Las fracturas suelen producirse como resultado del impacto directo de un objeto externo, en movimiento o estático, sobre una parte del cuerpo y de



**Figura 3.** Fractura antemortem en huesos nasales que provocó desviación ósea hacia lado derecho.

Fuente: *Elaboración propia*



**Figura 4.** Fractura antemortem por compresión en epífisis proximal de tibia derecha

Provocando acortamiento hacia cara lateral.

Fuente: *Elaboración propia*



la transmisión de energía de impacto al hueso subyacente, que se fractura en la dirección de la fuerza externa. Los accidentes también pueden provocar la dislocación o subluxación de una articulación con la posible deformidad ósea resultante. Un buen ejemplo de ello lo constituyen los distintos tipos de fracturas que se producen con motivo de caídas, ya sea en un mismo plano o por precipitación.

- **Intencionales.** Las lesiones de tipo intencional, pueden ser el resultado de golpes directos con objetos, armas u objetos, de bordes romos o afilados, que pueden causar daños en los tejidos blandos y partes esqueléticas subyacentes (Jud y Redfern, 2012), al ser utilizados intencionalmente, produciendo hundimientos, incisiones, fracturas, etc. Las lesiones de tipo perforante producidas por proyectiles disparados por armas de fuego, lesionan tejido blando y posiblemente hueso subyacente, cuyas características dependen del tipo de proyectil y arma, posición, distancia y trayecto. En este capítulo no se profundizará en el tema, ya que en esta obra existe un apartado específico para ello. Lo que sí es importante mencionar es que si la lesión traumática intencional se efectuó en vida del sujeto, con recuperación del área afectada, y puede existir evidencia de sus características y mecanismo que la produjo y las probables secuelas derivadas de ellas.
- **Quirúrgicas.** Las evidencias de procedimientos quirúrgicos a encontrarse en los cadáveres pueden ser de muy diversa índole. La localización en piel de cicatrices puede orientar la inspección para la localización de huellas de intervenciones quirúrgicas, así como de dispositivos médicos o protésicos (figura 5), materiales que son muy útiles en la identificación de cadáveres, ya que pueden constituirse como características únicas de individualización (Clarkson y Schaefer 2007)

## ENFERMEDADES INFECCIOSAS

Las enfermedades infecciosas específicas son en las que las lesiones óseas y del tejido blando resultantes son únicas (patognomónicas) a un patógeno específico. Por lo tanto, se puede diagnosticar la enfermedad responsable. Los patóge-

nos responsables son bacterias, micosis, virus y protozoos parásitos.

Entre las principales de origen bacterial están la lepra, las trepanomatosis (entre ellas la sífilis) y la tuberculosis (Wilson, 2012). Esta última, puede llegar a ser de las más comunes por ser una enfermedad oportunista de amplia distribución en todo el planeta, además asociada con grupos vulnerables tanto rurales como urbanos. Entre las principales lesiones que permiten su diagnóstico son lesiones destructivas en la cara posterior de costillas, de cuerpos vertebrales provocando su colapso, la fosa pélvica, la superficie anterior del sacro o las articulaciones sacroilíacas, además puede producir destrucción del cartilago articular y el hueso subarticular, asociándose a anquilosis fibrosa ósea (Roberts, 2012). En cadáveres frescos puede llegar a observarse agrandamiento de los ganglios linfáticos en el cuello (conocido como escrófula).

Las enfermedades micóticas (maduramicosis, actinomicetos), virales (poliomielitis, viruela), y parasitarias, son poco frecuentes y dejan pocas lesiones en hueso, mientras que en cadáver fresco son relativamente fácil de detectar. Las micóticas son más frecuentes en los pies por heridas infectadas.

## NEOPLASIAS

Una neoplasia (nuevo crecimiento) se define como una masa anormal de tejido, cuyo crecimiento excede y está descoordinado con el de los tejidos normales, y persiste de manera excesiva incluso después de la cesación del estímulo que evocó el cambio (Willis, R. A., 1952).

Las neoplasias pueden describirse como benignas (que se expanden localmente) o malignas (invasivas de los tejidos locales y que se propagan a otros lugares del cuerpo donde se desarrollan colonias hijas o metástasis). Para la nomenclatura de las neoplasias, se utiliza el sufijo “oma” ya sea benigna o maligna, antecedida de un prefijo que indica el tipo de tejido del que aparentemente se origina, de esta manera, indicaremos como “osteoma” a un crecimiento excesivo de tejido óseo, mientras que un “condroma”, es cuando se afecta al cartilago.

Las neoplasias benignas causan signos y síntomas que dependen de su sitio anatómico y rara vez son perjudiciales. Sin embargo, el daño y la fatalidad pueden resultar ocasionalmente de la expansión del tumor y de la consiguiente



**Figura 5.** Fémur izquierdo con fractura bien consolidada

Puede apreciarse dispositivo protésico, útil para su identificación.

Fuente: *Elaboración propia*

compresión de los órganos adyacentes. Los más comunes son los osteomas (Brothwell, 2008), frecuentemente localizados en el cráneo que pue-

den ser observables a simple vista como simples abultamientos, los cuales que pueden ser útiles

en el proceso de identificación por su forma, tamaño y localización.

Las neoplasias malignas se clasifican como carcinomas cuando provienen de células de origen epitelial (p. ej. piel, tracto gastrointestinal) o sarcomas que provienen de células de origen mesenquimal (p. ej. músculo, células nerviosas o hueso). Las células se propagan al ser transportadas desde el sitio original (primario) en los sistemas linfático o vascular a órganos distantes del cuerpo, creando así nuevas lesiones malignas (secundarias) remotas del sitio primario. También puede haber propagación directa de células neoplásicas a lo largo de planos anatómicos asociados a tejidos y órganos adyacentes. Las lesiones secundarias tienen las mismas características celulares y patogénicas de crecimiento, diseminación e invasión que la lesión primaria. (Waldron, 2009). Entre las más comunes están el cáncer de mama y de próstata, que provocan en huesos lesiones desorganizadas líticas y proliferativas.

## ENFERMEDADES ARTICULARES

Mientras que la artrosis sólo se encuentra en las articulaciones sinoviales, debido a su relación con el cartílago hialino, la enfermedad degenerativa de las articulaciones se puede producir en cualquier tipo de articulación (fibrosa, cartilaginosa o sinovial), incluso en las entesis de tendones y ligamentos.

En las articulaciones sinoviales y en algunas fibrocartilaginosas como la acromioclavicular, los principales cambios que indican una lesión degenerativa articular son la porosidad y la osteofitosis marginal. La oclusión osteofítica alrededor de las articulaciones forma parte del proceso normal de envejecimiento y es el resultado de la degradación del cartilago en esta región. Sólo si se acompaña de eburnación (pulido), podemos estar seguros de que la osteoartritis está presente. De lo contrario, hay que hacer un juicio sobre el grado de cambio en la articulación y aquí otros factores como el cambio de contorno de la articulación y la presencia o ausencia de quistes subcondrales pueden ser útiles. Un individuo con osteoartritis normalmente tendrá más de una articulación afectada, ya que esta es considerada como una enfermedad sistémica. Mientras que la lesión degenerativa articular puede afectar sólo una articulación producto por ejemplo de un trauma en una región anatómica próxima o una dislocación (Weiss, 2015).

La osteoartritis (OA) es la forma más común de enfermedad articular. Es una anomalía metabólica dinámica que afecta al cartílago hialino de las 190 articulaciones sinoviales que existen en el cuerpo humano. Además, no es sólo el cartilago el que se afecta, sino que implica todas las estructuras que componen la articulación. Hay una progresión relacionada con la edad en la incidencia y prevalencia de la OA, pero algunos individuos son más susceptibles que otros. Algunas de las condiciones que predisponen a un individuo a desarrollar OA en una articulación en particular son anomalías del desarrollo, traumatismos, problemas metabólicos como la gota, enfermedades inflamatorias como la artritis reumatoide, diversas enfermedades, al igual que se ha asociado con obesidad y patrones de actividad física (figura 6). De hecho, cualquier trastorno que altere el contorno de una articulación normal o que conduzca a una mala alineación de la articulación (Waldron 2009, 2012).

Los nódulos de Schmorl son depresiones en las superficies del cuerpo vertebral comunes de localizar. Son causados por la hernia (intrusión) de material del núcleo pulposo del disco intervertebral a través de la endodisco vertebral y parecen estar relacionadas con el estrés mecánico, la compresión axial de la columna vertebral a una edad temprana. Se encuentran más comúnmente en las vértebras torácicas inferiores y lumbares superiores. También pueden ocurrir en personas mayores y algunas veces se asocian con osteoporosis. Los nódulos pueden causar dolor, especialmente cuando están situados en la parte central del cuerpo vertebral o bien, ser asintomáticos (Weiss, 2015). Estas lesiones pueden ser orientativas en la identificación, si el familiar o conocido reporta dolores en la espalda para la persona a identificar, pero es necesario también tener en cuenta que pudieron pasar desapercibidas para la persona o esta nunca manifestar dicha dolencia. Su presencia se correlaciona también con obesidad y patrón de actividad.

## ENFERMEDADES ENDOCRINAS

Aunque la disfunción de muchas glándulas endocrinas puede estar potencialmente asociada con anomalías esqueléticas, la mayoría son inespecíficas y no patognomónicas. Más comúnmente, pero rara vez, son la subactividad de la secreción de la glándula pituitaria de la hormona del crecimiento, lo que resulta en enanismo, y la hiperactividad de la secreción que resulta en gigantismo



**Figura 6.** Coxal de una mujer con inicio de proceso osteoartrotico en el acetabulo del coxal derecho (indicado con flecha).

Posiblemente, padeci6 de dolor en la cadera y limitaci6n de movimiento de la pierna derecho

Fuente: Elaboraci6n propia

si la disfunci6n se desarrolla durante el per6odo de crecimiento, y acromegalia si se desarrolla en la edad adulta (Kozłowski y Witas, 2012).

De entre las m6s comunes de apreciar es la osteoporosis. Se trata de un trastorno frecuente, que aumenta con la edad y con una mayor incidencia en mujeres. Patol6gicamente, el hueso tiende a ser m6s ligero, es decir, una reducci6n de la masa, con una corteza delgada y, en particular, una p6rdida de hueso trabecular; las trab6culas mismas se adelgazan y son menos numerosas, pero la mineralizaci6n 6sea global sigue siendo normal, no obstante, la p6rdida en la densidad mineral pone en riesgo de fracturas al individuo

(Weiss, 2015). Las v6rtebras lumbares pueden ser de apariencia bic6ncava, a veces descritas como “v6rtebras de pez”. La p6rdida de estatura y cifosis de la columna vertebral puede ser el resultado de fracturas vertebrales, afectando as6 la apariencia externa de un individuo (Kozłowski y Witas, 2012). El simple examen macrosc6pico del hueso para determinar la p6rdida de masa puede ser inexacto si se tiene en cuenta la preservaci6n.

## ENFERMEDADES METABÓLICAS

Las enfermedades metabólicas son el resultado de la perturbación de los complejos mecanismos de regulación física y química necesarios para el mantenimiento de la salud. Existen por deficiencia o por exceso. El escorbuto y el raquitismo son enfermedades causadas por una deficiencia dietética de vitamina C y vitamina D (Brickley e Ives, 2008). La anemia también puede deberse a la deficiencia de hierro en la dieta o a la pérdida crónica de sangre.

### Raquitismo/Osteomalacia

La edad de una persona es importante para determinar qué tipo de enfermedad puede desarrollarse a partir de la deficiencia de vitamina D. En la infancia, los huesos todavía se están desarrollando, por lo que la deficiencia de vitamina D provocará una mineralización deficiente de la plantilla ósea cartilaginosa (Weiss, 2015). Esta plantilla es relativamente maleable y tiene tendencia a deformarse. Además, si no se mineraliza, entonces hay una falta de estímulo para prevenir el crecimiento excesivo de las placas terminales epifisarias, por lo que el cartílago prolifera. En el caso de los huesos largos que soportan peso, se doblarán y el extremo puede ensancharse (Mays et al., 2009). Se produce hinchazón en las uniones costocondrales cartilagosas, conocida como “rosario raquítrico”. Se puede desarrollar cifosis espinal o escoliosis. La porosidad general y la formación de hueso nuevo pueden ser visibles en el hueso patológico, lo que probablemente se deba a una respuesta a las tensiones y debilidad en el hueso relativamente blando; por lo tanto, las fracturas también pueden ser más frecuentes. En el cráneo puede haber aplanamiento de algunos huesos debido a que la cabeza descansa sobre superficies mientras duerme. Las anomalías del desarrollo dental también pueden ser una característica del raquitismo. Clínicamente, el niño puede ser corto y tener muñecas más anchas, piernas arqueadas y deformidades en el cráneo o el pecho (Weiss, 2015). Los huesos afectados pueden ser dolorosos y esto puede afectar la capacidad del individuo para caminar o realizar actividades. Los músculos pueden debilitarse y doler. Hay una mayor probabilidad de fracturas. Los dientes pueden estar mal formados y tener un mayor riesgo de caries.

En los adultos, los huesos suelen estar completamente formados y completos. Por lo tanto, la deficiencia de vitamina D que provoca que el calcio no sea absorbido, tendrá efectos patológicos diferentes al raquitismo y recibe el nombre de Osteomalacia (Brickley e Ives, 2008). Además de ser menos común, debido a que la vitamina D puede ser obtenida a través de alimentos como el pescado, ternera y hongos (Pearson, 1997). Los huesos más comunes afectados son las vértebras y la pelvis. Las vértebras se doblan y la pelvis puede deformarse; se trata de huesos que soportan peso con un contenido relativamente alto de hueso trabecular que es más susceptible a la deformación. Las pseudofracturas pueden ocurrir especialmente en la pelvis, costillas y huesos largos, estos tienden a ser fracturas incompletas y por lo tanto pueden aparecer sólo como una espícula de formación ósea. También se puede presentar algo de flexión del fémur (debido al soporte de peso). Los síntomas clínicos incluyen dolor óseo y muscular, sensibilidad que afecta especialmente a la parte baja de la espalda, los brazos y las costillas. Se puede presentar debilidad, particularmente de los músculos de la extremidad proximal, produciendo una marcha de pato.

### Escorbuto

La deficiencia de vitamina C causa una enfermedad conocida como escorbuto. La vitamina C (ácido ascórbico) se puede encontrar en los cítricos, las verduras de hoja verde y las patatas (Fain, 2005). Es esencial para la síntesis de colágeno; el colágeno está presente en las paredes capilares y, sin ella, se vuelven frágiles y tienden a romperse y sangrar. Las características clínicas del escorbuto dependen de la gravedad; en los casos leves sólo se puede producir lasitud y tendencia a la formación de moretones; en los casos más graves se pueden producir encías inflamadas y sangrantes con los dientes aflojados y una mayor posibilidad de infecciones asociadas; también se pueden producir folicúlos pilosos engrosados, moretones y hemorragias espontáneas, así como anemia. En el escorbuto infantil, las características clínicas incluyen dolor en las piernas, anemia, irritabilidad y hemorragias subperiólicas. Estas hemorragias subperiólicas se producen a menudo en los huesos largos y también en la órbita. La porosidad también puede ser evidente en la escápula y la corteza craneal. Las costillas pueden verse afectadas en niños con

agrandamiento de los extremos de las costillas cerca de la unión costocondral (también conocida como “rosario escorbútico”) o en adultos como fracturas en este sitio. Los adultos también pueden tener evidencia de formación de hueso nuevo poroso en los huesos largos y el cráneo (Brickley e Ives, 2008).

## ENFERMEDADES INMUNOLÓGICAS

Los trastornos autoinmunes, pueden provocar enfermedades como las inflamatorias de las articulaciones. Entre las comunes observables en hueso son la espondilitis anquilosante, la artritis reumatoide y artritis psoriática.

La espondilitis anquilosante se trata de un trastorno inflamatorio sistémico crónico que afecta principalmente al esqueleto axial. Se ven afectadas tanto las articulaciones sinoviales y cartilaginosa como las inserciones tendinosas y ligamentosas. Comienza con una inflamación simétrica de las articulaciones sacroilíacas, que a menudo produce anquilosis de la pelvis hasta el sacro. Después de un período de diez años o más, toda la columna vertebral puede verse afectada, y estar anquilosada (fusionada) en forma de tallo de bambú. Los cambios son inconfundibles una vez que la afección ha alcanzado un estadio avanzado. Es más frecuente en hombres y la edad de inicio más común es de 15 a 35 años, con fuerte predisposición genética. Los síntomas principales son rigidez espinal y dolor en la parte baja de la espalda o en los glúteos, con cambios inflamatorios en las inserciones tendinosas pélvicas o en el tendón de Aquiles que también pueden ser muy dolorosos.

La artritis reumatoide se trata de un trastorno sistémico del tejido conectivo. Consiste en artritis inflamatoria crónica que afecta a múltiples articulaciones sinoviales, especialmente de las manos y los pies, con una distribución muy simétrica a ambos lados del cuerpo. Un desencadenante desconocido estimula los anticuerpos contra las propias inmunoglobulinas del cuerpo y esto es seguido por la deposición del complejo inmunológico en la membrana sinovial. Las articulaciones interfalángicas proximales y metacarpofalángicas de las manos y las articulaciones metatarso-falángicas de los pies normalmente están comprometidas. Después, las articulaciones de la muñeca, rodilla, codo, glenohumeral y acromioclavicular se ven afectadas en orden descendente de frecuencia. Las articulaciones apofisarias cervicales y atlanto-axiales también

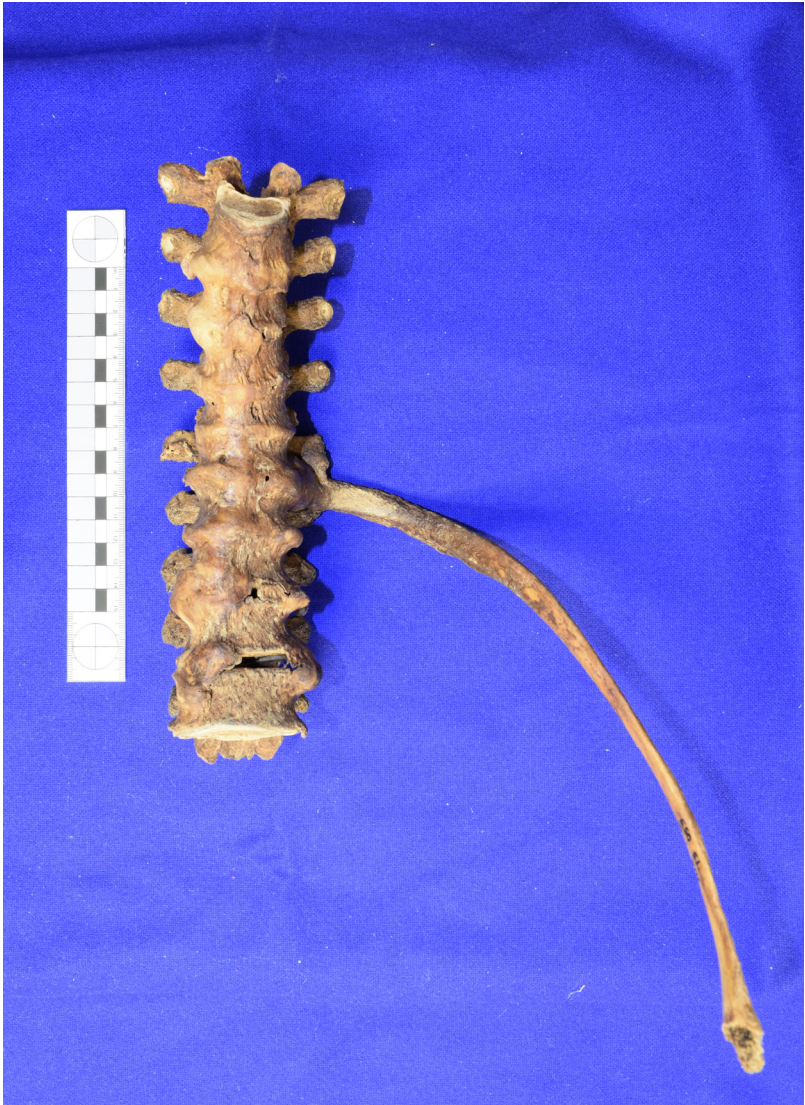
pueden estar implicadas. La edad de inicio más común es de 25 a 55 años, más frecuente en las mujeres con una predisposición familiar. Las articulaciones son dolorosas e hinchadas, calientes y sensibles; tienden a estar rígidas después del reposo. Los cambios articulares pueden ser severos; en aquellos individuos en los que la enfermedad progresa sustancialmente, la subluxación o dislocación o incluso la anquilosis de la articulación seguirá. Afecta principalmente las articulaciones de mano y pie. El tejido de granulación inflamatoria propio de la artritis reumatoide se denomina “pannus”. Esto causa la destrucción del cartilago, particularmente cerca del hueso desprotegido en los márgenes de las articulaciones (Weiss, 2015). En casos severos conduce a anquilosis fibrosa y ósea.

## ENFERMEDADES CIRCULATORIAS

El principal resultado de una alteración circulatoria es una necrosis avascular que puede ocurrir cuando hay muerte de parte de un hueso debido a la interrupción de su suministro arterial. Los sitios comunes de necrosis avascular incluyen el escafoides y la cabeza del fémur, así como la cabeza del húmero y el astrágalo; una fractura en uno de estos sitios puede interrumpir el suministro de sangre y, por lo tanto, afectar el proceso de cicatrización. En varios sitios, la necrosis avascular puede ocurrir sin una razón clara (idiopática), comúnmente la cabeza del fémur (enfermedad de Perthe), la cabeza metatarsiana, el condilo femoral medio, los huesos naviculares y lunares. La falta de suministro de sangre al hueso provocará la muerte de la parte afectada, la cual será reabsorbida gradualmente por el cuerpo. Clínicamente, un individuo puede presentar dolor y movimiento limitado de la articulación asociada. El hueso es morfológicamente irregular con ausencia de rasgos anatómicos y pérdida de sustancia ósea. Dependiendo de la articulación particular afectada, puede haber evidencia de una pseudoartritis y/o osteoartritis para acomodar el compromiso funcional; esto puede ser evidente en el hueso homólogo de la articulación.

## DE ORIGEN DESCONOCIDO

Consideradas de esta manera aquellas enfermedades que se desconoce su etiología o causa. Aquí colocamos la Hiperostosis Esquelética Idiopática Difusa, mejor conocida como DISH



**Figura 7.** Columna vertebral (2 a 10 dorsal) con signos característicos de DISH

Fuente: Elaboración propia

por sus siglas en inglés (de *Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis*), una condición que afecta no sólo a la columna vertebral sino también a los otros huesos del esqueleto de una manera

muy característica. Por lo tanto, existen manifestaciones tanto espinales como extraspinales, que están relacionadas con la osificación de tendones y ligamentos. En la columna vertebral, las vérte-

bras torácicas de la cuarta a la duodécima muestran una calcificación y osificación ondulante del ligamento longitudinal en la cara anterior derecha, que puede tener un grosor de hasta un centímetro. Es conocida como una apariencia de 'cera de vela' que fluye. En la columna lumbar, hay un puente óseo característico entre los cuerpos vertebrales de ambos lados (figura 7). Es menos probable que la columna cervical se vea afectada. Su presencia se ha asociado con obesidad y diabetes (tipo II), así como con un metabolismo anormal de la vitamina A y altos niveles de ácido úrico en sangre, entre otros factores (Waldron, 2009). Las manifestaciones extraespinales se encuentran más comúnmente en las inserciones del ligamento del cuádriceps en la rótula, el tendón de Aquiles en el calcáneo, los tríceps en el cúbito y el manguito rotador del húmero.

## REGISTRO DE LAS LESIONES

Toda lesión hallada en el cadáver u osamenta debe ser descrita y registrada minuciosamente de manera gráfica y/o fotográfica. Para la descripción y ubicación de una lesión, se recomienda seguir las recomendaciones de Ortner (2003) y Cunha y Pinheiro (2013). Se inicia con la ubicación de la alteración comenzando por el hueso o segmento corporal afectado y especificar la parte anatómica: epifisis, diáfisis, metáfisis, anterior/posterior, medial/lateral, superior/inferior, interno/externo. La descripción de su forma, extensión y métrica: largo/anchura, altura/base, diámetro, perímetro y profundidad. El tipo de alteración observada: lítica, proliferativa, deformante. Después, el patrón de distribución: unifocal (afecta un solo hueso o segmento corporal) /multifocal (afecta dos o más huesos o segmentos), simétrica/asimétrica, sistémica. Hay que puntualizar si se trata de lesiones similares o distintas, de ser posible establecer el tiempo o cronología del padecimiento (especificando si la lesión está activa o cicatrizada), las secuelas, evidencia de presencia/ausencia de tratamiento médico, registro de prótesis o implantes. Además, al final del registro se deberán de señalar una relación de afecciones conocidas que podrían haber ocasionado el tipo de lesiones observadas. Y lo más importante, hacer énfasis en los efectos o secuelas sobre el individuo, como pueden ser falta o limitación de movimiento, alteración en el desplazamiento, apariencia, olor, inflamación, dolor, entre otros.

De preferencia, la descripción escrita debe ir acompañada de esquemas anatómicos en donde se ubicarán las alteraciones patológicas o lesiones y su probable diagnóstico o mecanismo que las produjo, estas representaciones gráficas permiten de forma rápida y visual el patrón seguido por la o las osteopatologías encontradas, única o sistémica, simétrica o asimétrica y qué parte del hueso afecta. Asimismo, es necesario, que siempre se señale cuando no es posible la obtención de información osteopatológica. No observar o no reportar una alteración patológica, no da por hecho que la persona no presenta algún tipo de patología, ya que como se ha indicado, no todos los procesos patológicos tienen impacto en el esqueleto.

Además, las alteraciones patológicas localizadas, debe de ser registradas fotográficamente, con testigo métrico y datos completos del registro o expediente de investigación, tanto en mediano acercamiento para relacionar las estructuras próximas o comprometidas, como en gran acercamiento para apreciar detalles de la alteración.

El análisis de alteraciones de origen osteopatológico o en tejidos blandos, se dificulta cuando un cuerpo está en avanzado estado de putrefacción o aún conserva masas musculares en degradación, por lo que muchas veces es mejor que el cuerpo esté reducido a osamenta y pueda ser limpiado cuidadosamente para llevar a cabo una observación macroscópica adecuada. Además, el empleo de técnicas radiológicas como la obtención de radiografías (Rx). Estas son fundamentales para descartar o confirmar algún tipo de enfermedad específica, lesiones de alteraciones tafonómicas, o bien, fusión o ausencias congénitas que a simple vista no podrían apreciarse.

Igualmente, la existencia de imágenes radiológicas o de tomografía computarizada (CT) de la persona en vida, aumentará significativamente las posibilidades de una identificación, al llevarse a cabo análisis morfocomparativos con imágenes o alteraciones observables en el análisis del cadáver u osamenta. Un ejemplo concreto es con los osteofitos, que son lesiones degenerativas muy comunes cuya etiología tiene que ver no sólo con la edad sino además con factores biomecánicos y genéticos. Si el examen médico señala debidamente el número, localización, y extensión de los osteofitos y además es contemporáneo o cercano al tiempo de desaparición, es un material muy útil para efectuar un análisis de





**Figura 8.** Esternón con variante epigenética

Fuente: *Elaboración propia*

los hallazgos. En estos casos, el antropólogo forense tiene que verificar si los osteofitos presentan la misma distribución espacial en el cadáver o restos óseos que analiza, y realizar un análisis morfocomparativo con las imágenes antemortem de tipo clínico y las imágenes post-mortem que se obtengan del cadáver o restos. Este tipo de estudios constituyen una excelente prueba de identificación positiva (Cunha, 2006).

## RASGOS DISCRETOS, VARIANTES ANATÓMICAS

En el esqueleto también se pueden localizar variaciones morfológicas que nada tiene que ver con un proceso patológico, algunas de las cuales se consideran en los estudios poblacionales de rasgos discretos o epigenéticos. Como pueden ser huesos accesorios, o huesos supernumerarios como los huesos suturales (hueso epactal o incaico, lamboideos, bregmático), anomalías de fusión (septum esternal) (figura 8), agujeros accesorios (orificio en la fosa olecraneana del húmero) y otras misceláneas (agujeros parietales engrandecidos). Los rasgos discretos, o variantes anatómicas normales, son también un factor excelente de individualización, y entre más inusuales mejor, claro está siempre y cuando se tengan registros de imágenes ante-mortem con cuales cotejar (Cunha, 2006).

## PSEUDOPATOLOGÍA (¡CUIDADO! QUE NO TODO LO ANORMAL ES PATOLÓGICO)

El registro e identificación de alteraciones observadas y su posible origen patológico, requiere de los conocimientos del especialista en el tema, debido a que en ocasiones un evento de origen tafonómico puede ser confundido con una alteración patológica o bien ésta no es observada.

Un análisis osteológico debe distinguir entre lesiones ante-mortem y alteraciones post-mortem, estas últimas derivadas de procesos tafonómicos, que pueden ser confundidas con alteraciones antemortem de orden patológico las cuales se les denomina pseudopatologías (Cunha, 2006). En muertes violentas, es común que los cadáveres queden depositados en superficie o inhumados a poca profundidad, lo cual da la posibilidad de que además de los agentes biológicos que actúan en las diversas fases de la transformación por putrefacción interactúen

con los componentes bióticos (hongos, algas, bacterias, insectos, animales carroñeros de diversos tipos incluidos carnívoros, roedores y aves) y abióticos (como temperatura, lluvia, granizo, nieve, corriente de agua, sol, humedad, intemperización, etcétera) de los ecosistemas predominantes en los sitios de depósito; agentes que pueden provocar alteraciones morfológicas y así ser confundidas con lesiones patológicas. Una de las principales alteraciones que se presentan son las producidas por insectos, quienes perforan o modifican la superficie ósea, al utilizarlo como sustrato en la deposición de huevos y el desarrollo de larvas. Incluso, algunos daños resultados de raíces en crecimiento no son fácilmente reconocibles. Otras más, son las aves de rapiña y fauna carnívora que mientras se alimentan son capaces de provocar perforaciones que despidan al ser confundidas con procesos osteolíticos productos de algún tipo de cáncer, en tales casos análisis con imágenes radiográficas y de microscopía pueden ser de gran utilidad, en la búsqueda de remodelación ósea, esclerosis marginal de la lesión, o marcado proceso osteoclástico/osteoblástico, que indiquen la lesión fue ante-mortem y por tanto, es probable se trate de los efectos de una patología (para mayor información ver Schultz, 1997).

## INFORMACIÓN ANTEMORTEM (AM)

Para lograr la identificación de cadáveres y restos esqueléticos la calidad de la información antemortem (AM) recopilada es esencial, especialmente la que se obtiene a partir de las entrevistas con familiares y conocidos, de esta manera la información proporcionada por los individuos que convivieron de manera cercana con la persona desaparecida tanto en fechas recientes como anteriores al evento traumático.

La información contenida en registros médicos es esencial, ya que ésta no está sometida a la memoria, la especulación o subjetividad, e incluso puede constatarse cuando existen registros antemortem de imágenes (radiológicas o tomografías) las cuales pueden ser utilizadas para análisis morfocomparativos. Este material y los estudios morfocomparativos que pueden derivar de ellos, son de gran utilidad cuando los resultados de genética forense son inconclusos, por no existir familiares en línea directa u objetos personales para realizar el cotejo, o cuando no existen registros odontológicos con que comparar (Scott et al., 2010). Además, el proceso de identifica-

ción puede fortalecerse cuando son localizados elementos quirúrgicos como prótesis, implantes quirúrgicos, grapas, placas de osteosíntesis, entre otros (Clarkson J, M. Schaefer, 2007). De ahí la recomendación a los expertos forenses que participan en las acciones de campo para efectuar recolecciones en superficie o excavaciones metódicas y minuciosas para la recuperación de estos elementos en los lugares de investigación, o bien cuando se efectúa el análisis de cadáveres o restos óseos en anfiteatro o laboratorio.

Los registros Antemortem, además de los datos administrativos, características generales, fisonómicas, señas particulares, antecedentes médicos y odontológicos deben de contener aquella información que es posible confrontar o cotejar con los datos de patologías obtenidos de manera postmortem. Estos deben ser: cicatrices traumáticas o quirúrgicas, deformidades o malformaciones evidentes en elementos o segmentos corporales, amputaciones, ausencias congénitas, alteraciones en la marcha, padecimiento de síndromes, enfermedades crónicas-degenerativas, presencia de abscesos o inflamaciones, lesiones articulares, traumatismos antemortem, problemas de tipo nutricional y otra información que puede obtenerse de los expedientes médicos u odontológicos (Mejía, 2015).

También es importante, obtener información acerca de la cotidianidad de la persona desaparecida, que indique posibles afecciones o alteraciones en su salud, como lo es una anomalía en su forma de caminar, limitaciones en los movimientos, expresiones de dolor o disfun-

ción de algún miembro, actividad u acción como el hablar de forma “gangosa”. De antecedentes ocupacionales o actividades laborales que puede implicar algún tipo de lesiones o huellas de actividad, o procesos degenerativos. Haber tenido en vida eventos específicos como un accidente en o por vehículo automotor, la caída de un caballo, violencia familiar, por citar algunos ejemplos. Y de ser posible, obtener fotografías de cuerpo completo que permitan observar al especialista la secuela del evento que se le indica.

## COMENTARIOS FINALES

En los procedimientos de análisis de restos óseos y/o cadáveres en el contexto legal o forense, es posible que los antropólogos forenses obtengan información sobre procesos osteopatológicos. Las alteraciones que afectan a los huesos y en ocasiones estructuras anatómicas adyacentes, como consecuencia de procesos patológicos o eventos traumáticos en vida, *per se* constituyen una parte imprescindible del denominado perfil biológico u “osteobiografía”, ya que son características de individualización de gran utilidad en este campo. Dependiendo de las circunstancias de cada caso, la información osteopatológica obtenida, recomendablemente debería de valorarse en un contexto interdisciplinario con otros especialistas forenses, ya que como se ha señalado, puede ser de gran utilidad, tanto en el proceso de identificación, como de determinación o exclusión de factores en la determinación de causa de muerte.

## REFERENCIAS CITADAS

- Brender JD, Felkner M, Suarez L, Canfield MA, Henry JP. 2010. Maternal pesticide exposure and neural tube defects in Mexican Americans. *Ann Epidemiol* 20:16-22.
- Brickley M, Ives R. 2008. *The Bioarchaeology of Metabolic Bone Disease*. Oxford: Academic Press.
- Brothwell D. 2008. Tumours and tumours-like Processes. En: Pinhasi R, Mays S, editores. *Advances in Human Paleopathology*. West Sussex, John Wiley & Sons, Ltd. P 253-282.
- Christensen AM, Passalacqua NV. 2018. *A Laboratory Manual for Forensic Anthropology*. Oxford: Academic Press.
- Christensen AM, Passalacqua NV, Bartelink E J. 2014. *Forensic Anthropology: Currents Methods and Practice*. San Diego: Academic Press.
- Clarkson J., M. Schaefer 2007 *Surgical Intervention* En: T. Thompson, S. Black *Forensic Human Identification An Introduction*. CRC Press pp 127-146.
- Cunha E. 2006. Pathology as a Factor of Personal Identity in Forensic Anthropology, En: Schmitt A, Cunha E, Pinheiro J, editores. *Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences from Recovery to Cause of Death*. Totowa, NJ: Human Press Inc. pp 333-358.
- Cunha E, Pinheiro J. 2013. Bone Pathology and Antemortem Trauma. En: Siegel JA, Saukko PJ, editores. *Encyclope-*

- dia of Forensic Sciences, segunda edición, Waltham: Academic Press. Vol. 1, pp 76-82.
- DiMaio V.J. and D. DiMaio 2001 Forensic Pathology Second Edition CRC Press Boca Raton FL
- Digitised Diseases (acceso 06/07/2018) <http://www digitiseddiseases.org/mrn.php?mrn=xx>
- Etzeberria F. 2012. Palestra: "El valor de la patología en los procesos de identificación y en la interpretación de la causa de muerte en las fosas comunes. Dictada el 3 de noviembre de 2012. *III Jornadas de Paleopatología*. Universidad de Coimbra, Portugal.
- Fain O. 2005. Musculoskeletal manifestations of scurvy. *Joint Bone Spine* 72:124-128.
- Iscan M.Y. and M. Steyn 2013 *The Human Skeleton in Forensic Medicine* Third Edition Charles C. Thomas Publisher Springfield Ill.
- Jud MA, Redfern R. 2012. Trauma. En: Grauer AL, editora. *A Companion to Paleopathology*. West Sussex: Wiley-Blackwell. pp 359-379.
- Kozlowski T, Witas HW. 2012. Metabolic and endocrine diseases. En: Grauer AL, editora. *A Companion to Paleopathology*. West Sussex: Wiley-Blackwell. pp 401-419.
- Maples W. 1984. The Identifying pathology. En: Rathbun TA, Buikstra JE, editores. *Human Identification: Cases Studies in Forensic Anthropology*. Springfield, IL: Charles C. Thomas. pp 363-370.
- Mays SA, Brickley M, Ives R. 2009. Growth and vitamin D deficiency in a population from 19th century Birmingham, England. *Int. J Osteoarchaeol* 19:406-415.
- Mejía MPS. 2015. La entrevista a familiares, herramienta de la antropología forense en el marco de la desaparición forzada de personas. Tesis de licenciatura. Ciudad de México: Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Ortner DJ 2003. *The Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Segunda edición, San Diego, CA: Academic Press.
- Pearson KL. 1997. Nutrition and the early-medieval diet. *Speculum* 72:1-32.
- Rathbun T, Buikstra JE. 1984. *Human Identification: Case Studies in Forensic Anthropology*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Roberts Ch. 2012. Understanding tuberculosis. En: Grauer AL, editora. *A Companion to Paleopathology*. West Sussex: Wiley-Blackwell. pp 434-457.
- Schultz M. 1997. Microscopic Investigation of Excavated Skeletal Remains: A contribution to Paleopathology and Forensic Medicine, En: Haglund WD, Sorg MH, editores. *Forensic Taphonomy. The Postmortem fate of Human Remains*, Boca Raton, FL: CRC Press, Inc. p 201-222.
- Scott AI, Congram D, Sweet D, Fonseca S, Skinner M. 2010. Anthropological and Radiographic Comparison of Antemortem Surgical Records for Identification of Skeletal Remains, *Journal of Forensic Sciences*, 55(1): 241-244.
- Waldron T. 2009. *Paleopathology*. New York: Cambridge University Press.
- Waldron T. 2012. Joint disease. En: Grauer AL, editora. *A Companion to Paleopathology*. West Sussex: Wiley-Blackwell. pp 513-530.
- Weiss E. 2015. *Paleopathology in Perspective. Bone Health and Disease through Time*. Maryland: Rowman & Littlefield.
- Willis RA. 1952. *The Spread of Tumors in the Human Body*. Londres; Butterworth & Co.
- Wilson DJ. 2012. Insights from genomics into bacterial pathogen populations. *PLoS Pathog* 8:e 1002874.

# 16

## Introducción a la Biometría Forense

**Chantal Loyzance<sup>1</sup>**

Palabras clave: biometría, identificación, sistema biométrico, ciencias forenses.

### RESUMEN

El presente capítulo consiste en una breve introducción al amplio campo de la biometría forense desde su definición y acontecimientos históricos relevantes, que motivaron su surgimiento, hasta las perspectivas actuales y los retos futuros visibles. La biometría resulta de la necesidad de asociar la identidad a personas, empleando características biológicas medibles, que con el paso del tiempo y el acelerado desarrollo tecnológico se ha diversificado. Los sistemas biométricos están conformados por arquitecturas robustas que soportan las funciones de reconocimiento (identificación), verificación y enrolamiento (adquisición de datos) con aplicación en la identificación de individuos desconocidos y la conformación de bases de datos de elementos biométricos. En un contexto actual es peculiar detectar que la tendencia en el desarrollo de nuevos sistemas biométricos se concentra en la gestión de la identidad ante mortem y no en el post mortem, siendo ésta última un campo de gran interés a nivel mundial en el ámbito forense. Los grandes retos que enfrenta la biometría forense se resumen en la gestión integral de las bases de datos multimodales, la multidisciplinariedad de las áreas de servicio y, principalmente, el débil reconocimiento y falta de aceptación en los sistemas de impartición de justicia.

### ABSTRACT

The present chapter is a brief introduction in forensic biometric field from the concept through historical facts to the current perspectives and future challenges. Biometric emerges as an imperative need to link automated recognition of individuals based on the behavioural and biological characteristics. Biometric systems are formed of robust architectures that support three main functionalities: enrolment, verification, identification. Nowadays the main developments of biometrics lie in identity management for antemortem behavioural instead of postmortem characteristics cutting features for forensic science. Forensic biometric challenges involve the management of large databases of multi-

---

1 Laboratorio de Antropología y Odontología Forense, Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

modal characteristics and forensic evidence with multiple encodings as well as the multidisciplinary of service areas and above the law enforcement system's lack of attention.

## BIOMETRÍA: DEFINICIÓN E HISTORIA

Diversos son los significados que se asocian al término biometría en función del campo de aplicación o abordaje. En el día a día de cualquier persona inmersa en una urbe, estar en contacto con sistemas biométricos es tan común que resulta imperceptible. Controles de seguridad para el ingreso a empresas e instituciones, autenticación para desbloquear teléfonos inteligentes, para la realización de pagos, registros y encuestas son algunos ejemplos cotidianos.

El origen etimológico de la palabra, biometría proviene del griego “bios” y “metron”, es decir, “medición de la vida”; que a su vez se traduce en un enfoque clásico, como parte de las ciencias biológicas que se vale de métodos estadísticos y fórmulas probabilísticas para explicar o describir a los seres vivos. Desde un enfoque tecnológico, principalmente de seguridad, la biometría se entiende como el conjunto de técnicas automatizadas de autenticación basadas en características biológicas medibles (El-Abed et al., 2012).

La biometría inició de la necesidad de asociar la identidad de personas aprovechando sus características biológicas medibles, de tal forma que el uso de patrones biológicos como huellas dactilares, impresiones palmares y ciertos datos antropométricos fueron empleados para formalizar trámites de distinta índole, entre ellos destacan aquellos con fines mercantiles y civiles. En la antigua China en el 300 a. C. y en Japón en el 702 d.C. las impresiones de los dedos constituían el método de identificación para la realización de transacciones (Barnes, 2011). Posteriormente, a finales del siglo XX con el desarrollo de la tecnología computacional; la biometría tiene un nuevo impulso. Los diversos métodos rudimentarios hasta entonces empleados fueron sustituidos por procesos automatizados mediante el uso de herramientas electrónicas como son los escáneres o dispositivos que dieron lugar a los actuales sistemas biométricos.

El primer prototipo para reconocimiento automático de características biológicas, fue desarrollado en 1970, para voz y huellas dactilares (El-Abed et al., 2012), el cual fue posterior a la primera publicación realizada por Trauring

sobre reconocimiento automatizado a partir de huellas dactilares en 1963 (Trauring, 1963).

En materia de leyes, fue en 1869 cuando en Inglaterra los registros biométricos adquirieron peso jurídico al promulgarse la obligatoriedad de la conservación de los registros de las personas condenadas por un crimen; disposición que se replicó en otros países de Europa y posteriormente en América, con inicio en Argentina mediante el registro de huellas digitales.

Otro acontecimiento significativo para la biometría fue en los años 70 con la automatización de la identificación a partir de huellas dactilares. La creación del sistema AFIS, por sus siglas en inglés Automated Fingerprint Identification System, exhibió ante la sociedad la enorme ventaja de emplear sistemas de reconocimiento de patrones automáticos con mejoría en los resultados obtenidos y en la indudable reducción de tiempos de búsqueda.

## DE LA BIOMETRÍA EN LA SEGURIDAD A LA BIOMETRÍA FORENSE A TRAVÉS DE LA IDENTIFICACIÓN (AM/PM).

Con el paso del tiempo y el acelerado desarrollo tecnológico, la biometría ha explorado el reconocimiento de distintas características físicas como son iris, radiografías, dientes, rasgos faciales e incluso el comportamiento; este último medido con base en ciertos patrones como la forma de caminar, gestos y microgestos faciales, expresiones verbales o bien la velocidad del parpadeo.

El avance en las diversas vertientes de la biometría generó a su vez, el surgimiento de nuevos y mejores desarrollos tecnológicos en áreas afines como el reconocimiento de patrones, el procesamiento de imágenes, la inteligencia artificial (Jain y Ross, 2015) y las redes neuronales. En el siguiente apartado se describirán los aspectos técnicos de la biometría con lo que se comprenderá la necesidad del desarrollo de las herramientas mencionadas.

Como se puede apreciar el surgimiento de la biometría parte de dos vertientes: la identificación humana en sí; y, aquella con aplicación en aspectos asociados a hechos delictivos.

La primera vertiente con fines de identificación humana ha tenido alcance en áreas distintas a la identificación convencional, como son la telefonía celular y el control de acceso, en ambos casos con el mismo fin que es controlar el acceso personal. De lo anterior se puede apreciar que son dos sub-ramas las que conforman a la biometría de identificación: seguridad y control de acceso; y gestión de la identidad (Wilson et al., 2018).

La segunda vertiente de la biometría se relaciona con hechos delictivos, comprende la vinculación de la biometría con las ciencias forenses, cuya sinergia da lugar a la denominada biometría forense.

A fin de asegurar la comprensión de las distintas vertientes del concepto de interés, iniciaremos con la explicación de la gestión de identidad y se finalizará con el ámbito forense.

La biometría de identificación de gestión de la identidad, como ya se mencionó, tiene un amplio espectro de características biológicas cuya medición y/o valoración permiten tanto el reconocimiento como la identificación de personas. Es oportuno hacer una pausa con la finalidad de enfatizar la clasificación natural que emerge con base en las características biológicas que se desee estudiar con fines de identificación. Resulta evidente percibir, que si la característica de interés está asociada a signos vitales entonces la identificación es ante mortem (AM); en cambio, si el interés se fija en la métrica osteológica entonces la identificación encuadra tanto en el ámbito post mortem (PM) como en el AM.

La amplia variedad de características biológicas AM favorecen su dualidad con respecto a las dos vertientes de la identificación mencionadas con anterioridad, es decir, ciertas características son empleadas en la gestión de la identidad y al mismo tiempo tienen aplicación en la seguridad.

Adicional al tipo y clasificación de la característica biométrica de interés, cualquier sistema biométrico presenta de una a tres funciones, cada una de ellas con requerimientos particulares que impactan directamente en la confiabilidad del resultado. Dichas funciones son: enrolamiento, verificación e identificación, mismas que se definen a continuación.

El enrolamiento, también conocido como adquisición de datos, consiste en el registro o introducción sensible de los datos biométricos de interés con una disposición tal que puedan

ser consultados posteriormente para la realización de búsquedas y comparaciones. Dicha disposición de los datos biométricos se denomina plantilla.

La verificación es el proceso mediante el cual se realiza la comparación de los datos de un usuario, contra su plantilla correspondiente; es decir, comparación uno a uno.

A diferencia, la identificación consiste en determinar la identidad mediante la comparación de patrones biométricos no conocidos contra una base de datos de individuos conocidos.

De nuevo se realiza una pausa para clarificar la diferencia entre el término identificación, que, si bien es ampliamente recurrido a lo largo del capítulo, existe una diferencia con respecto al término riguroso en el contexto de los sistemas biométricos. La identificación biométrica se define como el proceso mediante el cual se comparan las referencias biométricas enroladas en una base de datos contra una muestra biométrica externa, arrojando resultados en orden decreciente con base en la mayor puntuación de similitud (Li, 2009). A diferencia de la identificación humana convencional que consiste en reconocer que una persona es la misma que se supone es.

Hasta el momento se ha centrado la atención en describir la biometría de gestión de identidad, conceptos relacionados y sus funciones generales; sin embargo, es la biometría en seguridad la que actualmente tiene gran aceptación en distintos ámbitos, no solo en el forense.

Las aplicaciones, de los sistemas biométricos en seguridad y control de acceso están divididos en cuatro categorías. La primera, es la correspondiente al control de acceso a datos para iniciar sesión en un dispositivo, en una computadora o bien en una red. La segunda, constituye el control de acceso físico a ciertas áreas. La tercera, consiste en la validación de una identidad reconocida mediante credenciales para permitir el acceso físico. Y la cuarta, corresponde al registro de identidad individual vía establecimiento biométrico (Li, 2009).

Adicional a las categorías descritas, existe una clasificación taxonómica extendida con doce niveles en función de factores como son la ubicación del almacenamiento de los datos biométricos, la motivación del usuario, la naturaleza de la información y las técnicas biométricas empleadas, entre otros. Se mencionan con la finalidad de sensibilizar al lector sobre las diversas opciones que en materia de seguridad y

control existen sin profundizar, para centrar la atención en el tema de interés que es el ámbito forense.

## BIOMETRÍA FORENSE

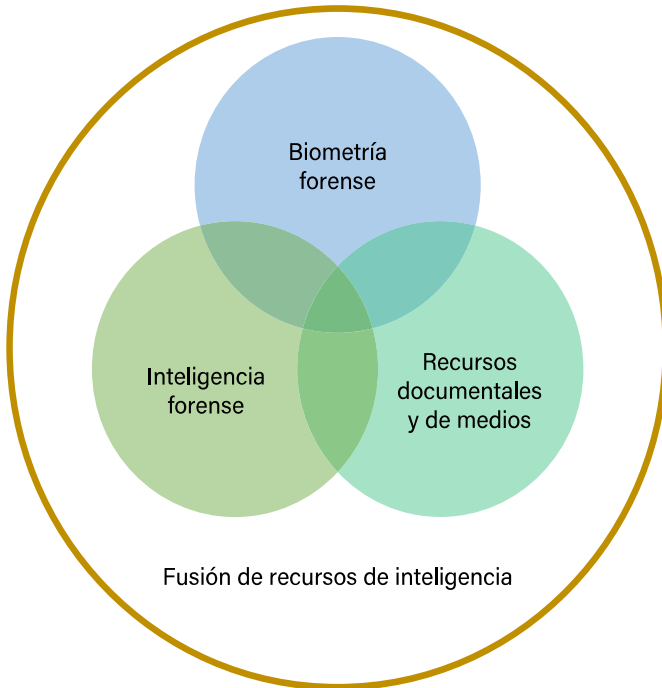
Con relación a la aplicación de la biometría para el abordaje de hechos delictivos, surgió la sinergia entre la biometría y las ciencias forenses para dar origen a la biometría forense cuyo fin radica en buscar la asociación de las características biológicas, que en el contexto forense adquieren el carácter de indicios, con un individuo en particular (Jain y Ross, 2015).

El reto de la biometría forense, adicional a los factores técnicos propios de la biometría y a la definición en sí, se presenta en tres posibles

escenarios como lo plantea Champod<sup>2</sup> (2009) en las aplicaciones forenses de la biometría (Li, 2009):

1. Identificación de individuos desconocidos (vivos o sus restos).
2. Rastreo e identificación a partir de elementos biométricos de origen desconocido hallados en lugares de investigación.
3. Asociación entre elementos biométricos para su integración como unidades de información.

En dichos escenarios la comparación entre características biométricas engloba la verificación e identificación, definidas previamente, con la salvedad que el elemento problema es de identidad desconocida, de tal forma que no existe una plantilla precargada; la comparación se



**Figura 1.** Biometría forense.

Fuente: *Elaboración propia*

<sup>2</sup> Christophe Champod pertenece a la policía de investigación científica, de la Escuela de Ciencias Criminales de la Universidad de Louisiana, Suiza.



realiza contra bases de datos de elementos que pueden o no haber sido identificados, pero si vinculados a un hecho delictivo de forma directa o indirecta.

Adicional a las características biométricas, para el ámbito forense cabe mencionar aquellas que son de gran recurrencia y utilidad en la sociedad moderna como son:

- Escritura y firma autógrafa.
- Impresiones de crestas dérmicas, incluidas las plantares.
- Fluidos biológicos y manchas hemáticas.
- Otoimpresiones o impresiones de orejas.
- Imágenes faciales de circuitos CCTV o similares.
- Grabaciones de voz.

La situación hipotética ideal en un contexto forense es aquella en la que se tiene la mayor cantidad de las distintas características biométricas descritas, todas provenientes de un mismo individuo y de preferencia tener al individuo relacionado con el hecho a fin de aportar mayor cantidad de elementos para lograr la identificación; sin embargo, la realidad dista de lo deseable.

La biometría forense mantiene un estrecho vínculo con la inteligencia forense, ambos son recursos de la Inteligencia como se muestra en la **figura 1**, se combinan con recursos documentales y adicionales como los de medios electrónicos para realizar investigaciones de carácter forense (Wilson et al., 2018).

De lo anterior, se deduce la biometría forense constituye un subsistema de los sistemas de inteligencia, que, si bien aporta gran cantidad de datos independientes, no realiza el análisis integral plausible por medio de inteligencia.

Para que un sistema biométrico se incorpore a la clasificación de biometría forense, además de la capacidad técnica debe acompañarse de estrategias políticas que permitan su implementación y uso mediante ajustes a la legislación que otorguen el carácter de obligatoriedad a la gestión de datos biométricos para su adquisición, almacenamiento y transmisión (Wilson et al., 2018).

Después de haber recorrido las diversas vertientes de la biometría y profundizar en aspectos relevantes para el ámbito forense, a continuación, se revisan los aspectos técnicos generales de todo sistema biométrico.

## ASPECTOS TÉCNICOS DE LOS SISTEMAS BIOMÉTRICOS

El éxito de todo sistema biométrico radica en la correcta detección de los patrones de interés, para ser empleados ya sea en la fase de enrolamiento, verificación o bien identificación. En donde, la “correcta detección” no exime al sistema de asociar un error al proceso de reconocimiento que desarrolla; sin embargo, al conocer la estructura del sistema, es decir, su arquitectura, y definir los criterios mínimos de aceptación en cada uno de los módulos que la integran se logra controlar la calidad del resultado para cumplir así con los requisitos establecidos.

La arquitectura de los sistemas biométricos descritos por El-Abed et al. (2012) consta de cinco módulos:

- Captura: registro de los datos biométricos crudos mediante su representación en datos numéricos empleados en las funciones de enrolamiento, verificación e identificación.
- Procesamiento de la señal: reducción de los datos numéricos para optimizar el almacenamiento y facilitar el tiempo de procesamiento en las funciones de verificación e identificación.
- Almacenamiento: conservación de datos numéricos a través de plantillas biométricas individuales.
- Comparación (match): comparación de los datos biométricos crudos contra una o más plantillas biométricas almacenadas.
- Decisión: arroja un índice de similitud que permite valorar si es suficiente para determinar la identidad de un individuo.

Dentro de la arquitectura son diferentes variables las que deben ser controladas para que el sistema tenga aplicaciones forenses. El primer gran reto se localiza en el módulo de captura, en donde la conversión de datos biométricos a numéricos se logra mediante un porcentaje de similitud que nunca alcanza el cien por ciento. La diversidad de características biométricas y la variabilidad en cada una de ellas dificulta el desarrollo de sistemas biométricos multimodales. Sin embargo, en la actualidad existen en el mercado equipos con capacidad de comparación simultánea de hasta cuatro características, principalmente con aplicación en controles de acceso y seguridad.

Aunado al reto de conservar la fidelidad de los datos biométricos en el módulo de captura, la biometría en general y con mayor ahínco la biometría forense, se enfrentan a un desafío mayor; la calidad de los datos biométricos a ser analizados.

Los datos biométricos son depurados desde la función de enrolamiento, cuando al ser registrados por el sistema biométrico no proporcionan información útil para las siguientes fases de análisis automático; o bien, aquellos que cumplen con la calidad mínima durante la función de enrolamiento, pero pueden ser rechazados durante la verificación.

Es así como surgen criterios generales estandarizados para la valoración de características biológicas a ser empleadas en sistemas biométricos, un ejemplo es el caso del NFIQ, siglas del NIST Fingerprint Image Quality metric, que establece los criterios para la valoración de la calidad de las huellas digitales (Tabassi y Wilson, 2005).

La Organización Internacional para la Estandarización plantea tres criterios generales para la valoración de la calidad de datos biométricos crudos, dichos criterios son los caracteres, la fidelidad y la utilidad. Dentro de los caracteres se valora la calidad de las características físicas. La fidelidad corresponde al grado de similitud entre los datos registrados y la fuente de origen; la utilidad determina el impacto de los datos biométricos registrados dentro del rendimiento general del sistema (El-Abed et al., 2012).

Además de la calidad, dos aspectos técnicos que todo sistema biométrico debe cumplir son los criterios de usabilidad y seguridad.

Para definir la usabilidad se retoma el término de la norma ISO sobre la ergonomía de la interacción humano-sistema, con clave ISO9241-210:2010, en donde la usabilidad se refiere al grado en que un producto es utilizado por usuarios para lograr objetivos específicos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto específico. Siendo el contexto específico los sistemas biométricos, entonces se debe entender por eficacia, el hecho de lograr la función biométrica para la que fue diseñada el sistema, la eficiencia lograr dicha función en correlación con el tiempo invertido; y la satisfacción con el grado

de confiabilidad del resultado arrojado. De lo anterior se desprenden los criterios técnicos para la aceptación en cuanto a la usabilidad del sistema biométrico en cada una de las funciones.

Para el enrolamiento se define la tasa de aceptación o tasa de error aceptable para la captura y para la calidad de la imagen adquirida; así como, la tasa de aceptación de comparaciones falsas positivas y de falsas negativas. En la verificación se establecen las tasas de aceptación para falsos rechazos y para falsas aceptaciones; para la función de identificación se definen las tasas de aceptación de identificaciones falsas negativas y de identificaciones falsas positivas.

El robustecimiento de la arquitectura de los sistemas biométricos radica entonces en el grado de error que el usuario está dispuesto a aceptar, entre menor sea éste, habrá mayor proximidad con los datos biométricos reales en cualquiera de las funciones que desarrolle el sistema tanto monomodal (una característica biométrica) como multimodal (dos o más características biométricas).

En la biometría forense la determinación de la identidad que, si bien no es absoluta, busca el menor grado de error, es entonces que los criterios de aceptación se estandarizan con base en el patrón biométrico y lo definido por organismos internacionales y grupos de expertos reconocidos como ISO<sup>3</sup>, NIST<sup>4</sup>, IEC<sup>5</sup> y ANSI<sup>6</sup>.

No menos importante es la seguridad en los sistemas biométricos, sin embargo, es un aspecto técnico que no ha sido ampliamente estudiado. La seguridad de un sistema biométrico es más que una simple clasificación del uso de la biometría, es un aspecto que debe ser considerado desde la arquitectura de este, para asegurar la conservación de la información, reducir la vulnerabilidad y resistir cualquier amenaza de robo, alteración o difusión.

Diversos esfuerzos son desarrollados por entidades internacionales como ISO y el grupo internacional de trabajo para la evaluación de criterios biométricos comunes, con avances respecto a las posibles amenazas y vulnerabilidad de los sistemas; sin embargo, aún no existen estándares reguladores sobre seguridad para su consideración en el desarrollo de sistemas biométricos.

3 ISO – International Organization for Standardization – Organización Internacional para la Estandarización.

4 NIST – National Institute of Standards and Technology – Instituto Nacional de Patrones y Tecnología.

5 IEC – International Electrotechnical Commission – Comisión Electrotécnica Internacional.

6 ANSI – American National Standards Institute – Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.

Después de revisar la terminología, la clasificación y las generalidades técnicas en el ámbito de la biometría forense, es oportuno conocer las propuestas de actualidad en el ámbito para determinar si tienen o no aplicación forense.

## **MÉTODOS BIOMÉTRICOS AM PM. UNA COMPARACIÓN DE PROPUESTAS DE ACTUALIDAD**

En el presente capítulo revisaremos seis métodos biométricos innovadores de reciente surgimiento a fin de discutir el grado de factibilidad de cada uno como herramienta de identificación y en particular en un contexto en el ámbito forense.

Dentro de las características biológicas AM están los patrones de formas de onda electrocardiográficas (Lee et al., 2018), los rasgos faciales (Yan et al., 2018), la trayectoria del movimiento de los ojos (Li et al., 2018), las radiografías palmares (Floriane et al., 2016) y la combinación de componentes orgánicos volátiles presentes en las manos (Holness y Furton, 2016). Y sobre las características PM se abordará la descomposición de iris y huellas dactilares (Sauerwein et al., 2017).

Los patrones de la forma de las ondas electrocardiográficas es el resultado de medir la actividad eléctrica del corazón mediante electrodos dispuestos sobre la piel del individuo, en los estudios realizados por Lee et al. (2018) se compara el registro obtenido directo de dos y tres parches de electrodos colocados en el pecho así como los dispuestos en dos y tres dedos. Mejores resultados fueron obtenidos con tres parches colocados en los dedos con un rendimiento del cien por ciento. El estudio muestra la posibilidad de reconocimiento de patrones mediante el registro de la actividad del corazón en forma de curvas únicas para cada individuo, con la desventaja de presentar fluctuaciones por influencia de actividad física, consumo de drogas y emociones fuertes que alteran el patrón individual y dificultan el reconocimiento (Lee et al., 2018).

El reconocimiento facial es una técnica de identificación biométrica ampliamente estudiada con gran aceptación en la vertiente de seguridad y control de acceso incluso en telefonía móvil. La tendencia actual radica en desarrollar algoritmos que permitan un mejor reconocimiento de las características biométricas faciales con un enfoque simple pero efectivo. El modelo propuesto por Yan et al. (2018) propone integrar en el algorit-

mo el registro de información espacial-estructural de sub regiones faciales para superar las limitaciones producto de la cuantificación cruda de vectores para mejorar el rendimiento. Si bien, el modelo ha sido probado con buenos resultados requiere ampliar los estudios para fomentar su implementación (Yan et al., 2018).

El reconocimiento biométrico basado en la dinámica de movimiento de los ojos se ha estudiado a lo largo de diez años. Al ser una característica que combina aspectos psicológicos y neuronales de un individuo, es decir, el movimiento de los ojos depende del control neuronal y de las propiedades individuales de los músculos extraoculares, forzar un resultado con fines específicos resulta casi imposible de conseguir. Li et al. (2018) propone estimular el movimiento ocular con tareas de búsqueda visual específicas y el registro biométrico de tres nuevas clases de movimiento. Sin embargo, el uso de características de comportamiento como es el movimiento de los ojos, presenta desventajas propias del método como es el efecto de aprendizaje durante la obtención de datos además de otros factores generales como la edad y la presencia de cansancio durante la prueba. El autor sugiere desarrollar más estudios a fin de explotar el uso de tareas cognitivas en el campo de la identificación (Li et al., 2018).

El uso de radiografías palmares para el análisis de los huesos de la mano es un método biométrico para estimación de edad que se basa en la medición y correlación de los parámetros de longitud y anchura máximas de las falanges proximal y metacarpiana. Al ser la estimación de edad recurrente en el ámbito forense, Floriane et al. (2016) proponen la incorporación del método biométrico con rangos de estimación de edad de  $\pm 8.8$  meses a  $\pm 12.7$  meses con mejores resultados en individuos con edades de trece años y menores (Floriane et al., 2016).

El uso del olor como técnica de identificación ha tenido poca aplicación en el ámbito forense, sin embargo, es un elemento recurrente en dichas escenas. Por tal motivo el estudio de los componentes orgánicos volátiles (VOC) que originan el olor es la propuesta que presentan Holness et al. (2016) con marcadores de quince VOCs para la estimación de afinidad biológica y trece para estimación de sexo. Los VOCs se obtienen de la mano del individuo bajo protocolos rigurosos para evitar contaminación; se emplea micro extracción de fase sólida y cromatografía para detección de los componentes de interés.

**Tabla 1.** Comparativa de seis métodos biométricos de vanguardia con respecto a la vertiente de la identificación.

Característica	Identificación			
	Gestión de identidad	Seguridad y control	Ante mortem	Post mortem
Ondas electrocardiográficas	X	X	X	
Rasgos faciales	X	X	X	
Movimiento de los ojos	X		X	
Radiografías palmares	X		X	X
Componentes orgánicos volátiles			X	X
Huellas dactilares e iris				X

Las limitaciones del uso de marcadores VOC para identificación radica en la alta sensibilidad a factores genéticos, psicológicos y de anatomía humana (Holness y Furton, 2016).

Con respecto a los métodos PM, el periodo de conservación de las características biológicas es determinante en el uso de escáneres biométricos para el registro de huellas dactilares, iris y rasgos faciales. La identificación post mortem depende de diversos factores externos como son precipitación, temperatura, descomposición y actividad de fauna cadavérica. En primavera y verano el registro biométrico es apto entre dos y cuatro días a partir del deceso, son las huellas digitales las que presentan mayor rango de conservación y el iris el menor. En invierno el rango se extiende a un promedio de 28 días, con un máximo de 50 días posteriores al deceso (Sauerwein et al., 2017).

La factibilidad en las distintas vertientes de la identificación de los métodos presentados se muestra en la **tabla 1**, en donde se observa la tendencia en el desarrollo de nuevos métodos biométricos con aplicación en la identificación, principalmente AM, para fines de gestión de la identidad; algunos de ellos con posibilidad de incorporación en la identificación PM.

## RETOS Y PERSPECTIVAS

Como es sabido, en un contexto forense no hay control sobre la calidad de los datos biométricos a ser analizados, por lo que la recopilación de la información es inclusiva a fin de evitar la omisión de elementos cruciales para la inteligencia forense. Cabe mencionar que la valoración preli-

minar de elementos se realiza principalmente de forma manual por los expertos en las áreas involucradas; es así como el criminalista, el dactiloscopista, el antropólogo y más peritos en materias de identificación; participan en la fase inicial para posteriormente recurrir al uso de sistemas biométricos en las subsecuentes fases de análisis.

Con el gran robustecimiento de los sistemas biométricos como antecedente; y a pesar de ser en el ámbito forense una de las principales áreas de aplicación de la biometría; actualmente, el uso de dicha tecnología automatizada no ha logrado una total incorporación en los sistemas de impartición de justicia, presentando limitaciones como el desconocimiento en terminología técnica y la falta de motivación para la aceptación de resultados estadísticos.

Otro aspecto relevante en el ámbito de la biometría forense es la administración de la gran cantidad de datos que, como parte de la inteligencia forense, son empleados en la resolución de los casos. La gestión integral de bases de datos es un reto actual que enfrenta la biometría forense; y más las investigaciones forenses.

Mientras el desarrollo tecnológico avanza, el reto que enfrenta la biometría forense y en sí las ciencias forenses exigirá mayores y mejores desarrollos de sistemas multimodales y multidisciplinarios para la integración de los diversos elementos asociados; y obtener así, conclusiones estadísticas con fundamentos técnicos y legales sólidos.

## REFERENCIAS CITADAS

- Barnes J. 2011. The Fingerprint sourcebook. In: Holder E, Robinson L, Laub J, editors. The fingerprint sourcebook. Washington: National Institute of Justice. p 7–22.
- El-Abed M, Charrier C, Rosenberger C. 2012. Evaluation of Biometric Systems. In: New trends and developments in biometrics. p 149–159.
- Floriane A, Gabriela R, Romain H, Micard E, Jacques LM, Laurent F, Lo M, Martrille L. 2016. Development of a biometric method to estimate age on hand radiographs. *Forensic Sci Int.*
- Holness H, Furton KG. 2016. Determination of VOC Marker Combinations for the Classification of Individuals by Gender and Race / Ethnicity. *Forensic Sci Int.*
- Jain AK, Ross A. 2015. Bridging the gap: from biometrics to forensics. *Phil. Trans. R. Soc. B.*
- Lee W, Kim S, Kim D. 2018. Multi-Cycle Electrocardiographic Waveform Patterns. *Sensors.*
- Li C, Xue J, Quan C, Yue J, Zhang C. 2018. Biometric recognition via texture features of eye movement trajectories in a visual searching task. *PLoS One* [Internet]:1–24. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0194475>
- Li S. 2009. Enciclopedia de biometría. (Jain A, editor.).
- Sauerwein K, Saul TB, Steadman DW, Ph D, Boehnen CB, Ph D. 2017. The Effect of Decomposition on the Efficacy of Biometrics for Positive Identification. *J Forensic Sci* 62.
- Tabassi E, Wilson C. 2005. A novel approach to fingerprint image quality. *IEEE Int Conf Image Process*: 37–40.
- Trauring M. 1963. Automatic comparison of finger-ridge patterns. *Nature* 197:938–940.
- Wilson L, Ph D, Gahan M, Robertson J, Ph D. 2018. A Systems Approach to Biometrics in the Military Domain. *J Forensic Sci*:1–6.
- Yan Y, Lee F, Wu X, Chen Q. 2018. Face recognition algorithm using extended vector quantization histogram features. *PLoS One* [Internet]:1–24. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0190378>

# 17

## Situación Actual y Nuevos Retos en Genética Forense

**Amaya Gorostiza<sup>1</sup>**

**Sonsoles Rueda<sup>1</sup>**

**Rosario Cospedal<sup>1</sup>**

Palabras clave: ADN, identificación genética, genética forense.

### RESUMEN

Los avances en el campo de la genética forense están revolucionando la identificación humana e incluso la interpretación de la historia. Límites que parecían insuperables están quedando atrás ante las nuevas disciplinas y las técnicas desarrolladas en los últimos años, permiten un uso que va más allá de la pura aplicación analítica, permitiendo su proyección hacia profundas reflexiones científicas. El desarrollo de nuevos marcadores diseñados para muestras críticas o límite permite resolver casos, y la optimización de la sensibilidad de los reactivos para los análisis ha dado un giro impensable al significado de la presencia del perfil genético de un individuo en un objeto o lugar. La transferencia de ADN entre personas, de personas a objetos y viceversa, abre un campo de visión hasta ahora impensable. Por otro lado, la búsqueda e identificación de los perfiles genéticos a través de las bases de datos policiales ha sufrido un cambio radical, considerándose en la actualidad los bancos de ADN de genealogía y búsqueda de familiares una posibilidad más en el rastreo y la exploración para la coincidencia de perfiles genéticos. El objetivo de este capítulo es aportar una recopilación concentrada de información que es posible ampliar en todos los casos, muchos de ellos a través de las referencias y la bibliografía recomendada. Sin embargo, la mayor aportación pretende hacerse en el ámbito del análisis, al evaluar los usos de una herramienta que, en las últimas décadas y especialmente los últimos años, ha sufrido una aceleración cuando menos vertiginosa.

## ABSTRACT

Advances in the field of forensic genetics are revolutionizing human identification and even the interpretation of history. Limits that seemed insurmountable are falling behind the new disciplines and techniques developed in recent years, allow a use that goes beyond the pure analytical application, allowing its projection to deep scientific reflections. The development of new markers designed for critical or limit samples allows solving cases, and the optimization of the sensitivity of the reagents for the analyzes has given an unthinkable turn to the meaning of the presence of the genetic profile of an individual in an object or place. The transfer of DNA between people, from people to objects and vice versa, opens a field of vision hitherto unthinkable. On the other hand, the search and identification of the genetic profiles through the police databases has undergone a radical change, considering currently the genealogy DNA banks and family search a further possibility in the tracking and exploration for the coincidence of genetic profiles. The objective of this chapter is to provide a concentrated collection of information that can be expanded in all cases, many of them through references and recommended bibliography. However, the greatest contribution is intended to be made in the field of analysis, when evaluating the uses of a tool that, in recent decades and especially in recent years, has undergone an acceleration at least vertiginous.

## INTRODUCCIÓN

En el año 1984 el genetista británico Alec Jeffreys de la Universidad de Leicester (Reino Unido) descubrió casi por casualidad la huella genética. En los años siguientes varios casos judiciales fueron resueltos gracias a la tecnología del ADN, entre ellos la identificación de los restos óseos de Josef Mengele (Jeffreys et al., 1992). En 1998 este método había sido admitido ya en procesos penales tanto en Reino Unido como en Estados Unidos y se estableció para la resolución de relaciones de parentesco en casos de migración (Home Office, 1998).

Actualmente, el análisis de la información disponible en bases de datos privadas ha permitido resolver casos como el violador del East Side, también llamado asesino del Golden State, autor de al menos cuarenta y cinco violaciones y doce asesinatos entre 1976 y 1986. Gracias a que los investigadores conservaron las muestras se ha podido realizar la identificación del culpable al incorporar el perfil genético del criminal en la base de datos abierta GEDmatch.com, no sin controversia por el tratamiento de los datos (Ram et al., 2018; Editorial, 2018).

En este intervalo de 30 años la tecnología de ADN ha experimentado un avance extraordinario. Especialmente, en el ámbito de la genética forense, permitiendo a día de hoy la resolución de casos tanto en el ámbito penal como en el civil y siendo trascendental cuando se presenta como prueba, demostrando así su absoluta consolidación científica y judicial.

## ÁCIDO DESOXIRRIBONUCLEICO (ADN)

El ácido desoxirribonucleico (ADN) es un ácido nucleico que codifica el desarrollo y funcionamiento de los organismos, además, es responsable de la transmisión hereditaria. Está fundamentalmente en los núcleos de las células formando los cromosomas.

Algunas de las características que lo hacen idóneo para su uso en identificación humana son las siguientes:

- Es altamente variable o polimórfico, y existen distintas formas de ADN en la población, lo que incrementa su capacidad de discriminación entre individuos.
- Es una molécula muy estable, por lo que permite su análisis en muestras muy antiguas y/o degradadas.
- Puede ser amplificado mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), con lo que la sensibilidad del análisis es muy elevada; permitiendo, en algunos casos, su estudio a partir de una única célula nucleada.
- Para cada individuo es único e idéntico en todas sus células, por lo que cualquier evidencia biológica de un mismo individuo (sangre, pelo, hueso, etc.) contiene el mismo ADN.
- No se altera a lo largo de la vida de un individuo, lo que lo hace imposible de falsificar.
- Cada individuo posee la mitad de la dotación genética autosómica de cada progenitor, además de otros marcadores ex-

clusivos de la línea paterna (en individuos varones) y materna, lo que permite su uso para hacer aproximaciones de relaciones de parentesco.

## ESTRUCTURA DEL GENOMA HUMANO

El genoma humano está constituido por 3.000 millones de pares de bases y el 98% es no codificante, es decir que no se expresa o presenta una función no evidente. Es en esta región no codificante donde se concentra la mayoría de la variabilidad genética existente entre individuos.

Se define *locus* (*loci* plural) como la posición fija que ocupa en un cromosoma (paterno o materno) un marcador genético; si ambas posiciones son distintas se denomina heterocigoto, mientras que si son iguales homocigoto. La variante de la secuencia de ADN en un determinado *locus* se llama alelo, y se define como el polimorfismo genético que presenta al menos dos formas alternativas en una población.

La caracterización de los alelos presentes en un determinado *locus* recibe el nombre de *genotipo*, y su combinación para múltiples *loci* se denomina perfil genético. En el caso del ADN mitocondrial o el cromosoma Y, todos sus *loci* se heredan de forma conjunta y esta combinación de genotipos recibe el nombre de *haplotipo*.

Existen numerosos ejemplos de polimorfismos en el genoma humano, en el caso de ser mutaciones de una sola base reciben el nombre de polimorfismos de secuencia. Cuando son de longitud son producidos por inserciones o deleciones de uno o más nucleótidos. Este tipo de polimorfismo es el que se observa con más frecuencia en las secuencias repetidas en tándem, y es esta variación en el número de copias de la unidad repetitiva en cada uno de los alelos, lo que se traduce en un gran número de tamaños posibles para un mismo *locus*.

Desde el punto de vista de la identificación, el más interesante es el ADN repetitivo, por su carácter polimórfico y variable entre individuos, siendo la fuente de los marcadores genéticos utilizados en el ámbito de la genética forense.

Este ADN, que es además no codificante, puede presentarse como copia única o bien en múltiples copias, y se clasifica por su disposición en el genoma y el tamaño de la unidad de repetición.

El llamado ADN repetitivo en tándem está constituido por bloques de secuencias de ADN repetidas, que se caracterizan por su distribución en el genoma ya la longitud de la unidad de repetición.

Estos últimos contienen unidades básicas repetitivas de pequeño tamaño distribuidas a lo largo de todo el genoma, y por ello reciben el nombre de VNTR (*Variable Number of Tandem Repeats*). En este grupo se incluyen los llamados minisatélites (con unidades de repetición de entre 10 y 70pb) y los microsátélites (con repeticiones de menor tamaño, 2-6pb). Estos últimos generan secuencias de fragmentos con longitudes inferiores a los 400pb, por lo que reciben el nombre de STR (Short Tandem Repeat).

## MARCADORES GENÉTICOS DE INTERÉS FORENSE Y SU ANÁLISIS

El diseño de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) (Mullis y Faloona, 1987) supuso una enorme mejora frente a la tecnología utilizada hasta entonces permitiendo solventar los problemas que se presentaban en el análisis forense. Las principales ventajas del análisis de polimorfismos de ADN mediante PCR son las siguientes:

- Gran sensibilidad, que permite analizar cantidades mínimas de ADN, mezclas, material degradado, etc.
- Precisión en la determinación del tamaño de los alelos, pudiendo resolver diferencias de una sola base.
- Posibilidad de análisis multiplex, varios *loci* en una misma reacción de amplificación.
- Acortamiento en el tiempo de análisis.
- Mayor facilidad en la estandarización.

Los polimorfismos con mayor interés en el ámbito de la genética forense son especialmente los STR, dado su elevado polimorfismo y grado de heterocigosidad (combinaciones de distintos alelos en un mismo *locus*).

La investigación biológica de las relaciones de parentesco se ha simplificado gracias a la investigación de este tipo de marcadores mediante las técnicas mencionadas, facilitando la resolución de casos complejos, tanto en lo referente a la disponibilidad de los familiares como al tipo de muestras analizadas.

Igualmente ha sucedido en el ámbito de la criminalística, destacando los casos de agresión sexual y la obtención de perfiles genéticos



de muestras de espermatozoides o de otras evidencias procedentes de la víctima, como epitelio bajo las uñas, por ejemplo.

Los polimorfismos de ADN se aplican, también, a la identificación o exclusión de individuos acusados de otros delitos, al comparar sus perfiles genéticos *indubitados* o de referencia con los obtenidos de las evidencias o restos biológicos hallados en las escenas de los hechos.

Además, para estos marcadores genéticos STR, tanto autosómicos como del cromosoma Y, se han creado bases con fines de investigación criminal, agilizando y permitiendo la identificación de individuos; resolviendo así un elevado porcentaje de casos. También, gracias a la colaboración entre diferentes países.

Sin embargo, se deben tener en cuenta, por su importancia y utilidad, otros marcadores como el ADN mitocondrial y los marcadores de inserción-delección (InDel)

También es importante la información referente a la procedencia geográfica del individuo, al que pertenece la muestra, cuya obtención es a través de los marcadores genéticos; esto, en algunos casos concretos, es de gran utilidad.

También debe nombrarse el marcador de sexo amelogenina, presente en la mayoría de los *kits* comerciales y que indica la composición en cromosomas sexuales del individuo al que pertenece la muestra analizada.

Por último, la aparición de los secuenciadores de nueva generación (NGS) permiten realizar varios análisis simultáneamente (tipado de STR, ancestría, origen geográfico y rasgos fenotípicos). Aunque está en sus inicios, hará posible la distinción de los contribuyentes a una mezcla de ADN gracias a sus características técnicas.

## ESTANDARIZACIÓN EN GENÉTICA FORENSE

Desde los inicios del desarrollo de la tecnología del ADN se realiza de forma permanente un gran esfuerzo enfocado tanto a la innovación metodológica como a las llamadas 'Buenas Prácticas de Laboratorio', con el objetivo de estandarizar las técnicas y los procedimientos de análisis en los laboratorios forenses del mundo.

Esta tarea incluye tanto las técnicas de análisis como los marcadores a utilizar, su nomenclatura y la valoración estadística de los resultados obtenidos, así como la elaboración

de informes y la presentación de los resultados. Igualmente, todos los aspectos relacionados con la acreditación de los laboratorios, es decir, organización y estructura del laboratorio, necesidades de formación, entrenamiento y experiencia del personal, control de la documentación, protocolos y procedimientos del laboratorio, mantenimiento y calibrado de los equipos, etc.

Estos programas de estandarización garantizan la fiabilidad de los resultados obtenidos a través de controles de calidad, y permiten la comparación entre diferentes grupos de trabajo de las técnicas de análisis empleadas y el tratamiento de los resultados obtenidos. Con lo cual se sientan las bases para la validación de procedimientos, etc.

En este proceso juegan un papel principal determinadas organizaciones especializadas como la International Society of Forensic Genetics (ISFG), a la que pertenecen la gran mayoría de laboratorios en el mundo que trabajan en el ámbito de la genética forense, tanto privados como públicos. La organización cuenta con numerosos grupos de trabajo nacionales e internacionales cuyo principal objetivo es el establecimiento de estándares comunes.

Entre estos grupos de trabajo destaca el Grupo de Habla Española y Portuguesa de la ISFG (GHEP-ISFG), especialmente activo y dinámico, que organiza un ejercicio intercomparativo anual (reconocido por su calidad desde el año 2015 por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC)), con dos niveles de dificultad (básico y avanzado). El número de participantes en el ejercicio es variable, la participación aumentó desde los 10 laboratorios de 1992, hasta los más de 130 laboratorios del ámbito internacional en los últimos años.

Estos ejercicios incluyen un caso de investigación criminal y un caso de investigación de parentesco (habitualmente maternidad o paternidad). Los laboratorios deben remitir sus resultados dentro de un plazo y una vez evaluados los mismos, obtienen un documento certificado en el que se especifica en qué marcadores y ejercicios el laboratorio ha participado exitosamente.

El ejercicio es de enorme utilidad no solamente porque permite el avance en la estandarización de los métodos, sino también porque proporciona un primer punto de encuentro para discutir las estrategias de análisis y las diferentes metodologías empleadas por los distintos laboratorios. Los ejercicios dan lugar a reuniones y

foro de debate donde los participantes exponen sus dificultades en el análisis de polimorfismos de ADN, poniéndose de manifiesto la necesidad de estándares de calidad. Desde 1995 el ejercicio empezó a funcionar como un auténtico control de calidad.

El ejercicio organizado por el Departamento de Aseguramiento de la Calidad del Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses (INTCF), ubicado en Madrid (España), es utilizado por muchos laboratorios internacionales como control externo.

Es importante mencionar igualmente ENFSI (European Network of Forensic Science Institute), SWGDAM (Scientific Working Group on DNA Analysis Methods), NIST (National Institute of Standards and Technology) y la Organización Internacional de Policía Criminal (INTERPOL) entre otros, todos ellos referencia en el ámbito y con gran cantidad de material disponible en sus páginas web referente a directrices para la formación de personal, el análisis de ADN, la interpretación de perfiles genéticos, así como directrices sobre ADN orientadas al cumplimiento de la norma ISO/IEC 17025 y diversos criterios de validación.

Hoy en día y gracias al duro trabajo realizado por los profesionales del ámbito mediante la continua búsqueda de nuevos marcadores y parámetros de análisis, la genética forense amplía continuamente sus campos de conocimiento y su proyección en el futuro. Estas nuevas perspectivas le dan el reconocimiento internacional como una de las disciplinas científicas con niveles más altos de estandarización.

## MARCADORES AUTOSÓMICOS STR

Desde su descubrimiento a principios de los años 90, los polimorfismos de ADN microsatélite han experimentado un gran desarrollo, tanto en el número de *loci* como en los diversos campos en los que la aplicación de estos marcadores ha sido enormemente ventajosa.

Aunque su estudio se aplica a diversas disciplinas, sin duda la que más ha aprovechado su potencial es la genética forense, que ha sabido combinar la enorme sensibilidad de la técnica de la PCR, con el elevado grado de polimorfismo del ADN microsatélite, aplicándolos a la identificación genética de individuos y vestigios biológicos, así como a la investigación biológica del parentesco en el ámbito de la criminalística.

Los microsatélites o STRs (*Short Tandem Repeats*) son, por definición, regiones de ADN repetitivo distribuidos a lo largo todo el genoma con unidades básicas de repetición de entre 2-7pb, que se distribuyen en tándem y con tamaños comprendidos entre 80-550pb, aproximadamente.

Un gran número de estos marcadores presentan elevados índices de heterocigosidad y polimorfismo, especialmente polimorfismos de longitud producidos por variaciones en el número de unidades de repetición. Otra característica fundamental es su baja tasa de mutación, lo que, unido a su alto grado de polimorfismo, los hace idóneos para la investigación biológica del parentesco.

Este tipo de marcadores se heredan al 50% de los progenitores, utilizándose para la determinación de parentesco directo como padre-hijo o madre-hija. Igualmente, y como huella genética de cada persona, es un tipo de marcador que nos identifica de manera inequívoca frente al resto de individuos de la población.

Hoy en día la práctica totalidad de los laboratorios de Genética Forense utilizan *kits* comerciales que incluyen todos los reactivos necesarios para la amplificación por PCR de una cantidad variable de STRs y las condiciones necesarias para su posterior detección por métodos automáticos. Forma parte del *kit*, además de los reactivos de la PCR, diferentes juegos de *primers*, un *ladder* alélico secuenciado para todos los marcadores, un ADN control y un marcador interno con fragmentos de tamaño conocido. Además, todos los *kits* incluyen manuales para su utilización en los que se pueden encontrar las características de cada uno de los *loci* STR incluidos, sus frecuencias alélicas en diferentes poblaciones, las condiciones de PCR y claves para resolver los problemas metodológicos más comunes.

El uso de secuenciadores automáticos con capacidad de detectar señales fluorescentes a diversas longitudes de onda ha permitido el diseño de *kits* capaces de amplificar un mayor número de marcadores STRs de una manera rápida y sencilla.

Para los *kits* de 16 marcadores STR la probabilidad de que dos perfiles genéticos coincidan por azar es minúscula, de entre 1 en 1016 (Welch et al., 2012). Lo que hace del tipado del ADN una herramienta muy potente en investigación criminal.

## MARCADORES STR DEL CROMOSOMA Y

Este tipo de marcador, además de las características ya mencionadas en el apartado anterior cuenta con la peculiaridad de estar localizado en el cromosoma Y, lo que significa que tiene herencia exclusiva a través de los varones. Además, aunque se trata de marcadores STR hablamos de haplotipo de cromosoma Y dado que se hereda en bloque.

Esto hace que todos los hijos varones de un mismo hombre lo compartan, así como todos los varones emparentados con ellos por vía paterna. Sin embargo, presenta una limitación, es un marcador que, aunque indica parentesco no permite diferenciar el tipo de parentesco existente (por ejemplo, padre e hijo, nieto y abuelo, etc.).

Es igualmente útil para establecer este tipo de relaciones cuando el parentesco a determinar es la única relación posible entre los individuos, es decir, podremos decir que ese resultado es compatible con que estén emparentados por vía paterna, si la duda es que sean abuelo paterno y nieto frente a que no tengan ninguna relación entre ellos.

Sus aplicaciones en genética forense incluyen también el uso en estudios de parentesco entre individuos varones cuando no se dispone de las muestras necesarias, pudiéndose inferir el parentesco en cuestión, analizando familiares de la vía paterna.

Cuando tenemos coincidencia del haplotipo del C-Y encontrado en dos individuos entre los que se desea determinar el parentesco, o por ejemplo en una muestra procedente de una víctima de agresión sexual y un sospechoso, es necesario conocer la frecuencia de dicho haplotipo en la población para poder calcular la importancia de la coincidencia.

Esto hace necesario crear bases de datos con haplotipos completos de STR de C-Y de los individuos de la población, para así poder realizar estimas objetivas de la ocurrencia de aparición de un perfil en concreto. En la base de datos debe encontrarse representada la mayor diversidad posible de la población general.

La *Y-Chromosome STR Haplotype Reference Database* (YHRD) (Roewer et al., 2001) es una base de datos poblacional de marcadores STR del cromosoma Y de acceso público que permite realizar una estimación de la frecuencia de

un haplotipo multilocus en más de 280.000 (actualización de septiembre de 2021).

## ADN MITOCONDRIAL (ADNMT)

El ADNmt se presenta como un marcador con múltiples aplicaciones en el campo de la genética forense debido a su modo de herencia, su elevada tasa de mutación y a la existencia de miles de moléculas por célula, lo que permite su estudio en condiciones en las que el material biológico a analizar se encuentra en mal estado o en cantidad insuficiente para estudiar cualquier otro marcador nuclear.

Este tipo de marcador se utiliza para la determinación de parentesco por vía materna entre individuos. Debido a sus características, todos los hijos de una misma mujer comparten el mismo ADNmt, de manera que todos los individuos emparentados por vía materna compartirán una misma forma de este marcador. Al comparar dos hermanos, el marcador será idéntico, igual que por ejemplo para dos primos hermanos por vía materna.

Es útil para establecer este tipo de relaciones cuando ese parentesco es la única relación posible entre los individuos analizados, es decir, no diferenciaremos si dos personas son madre e hija o nieta y abuela materna, pero sí podremos decir que ese resultado es compatible con que estén emparentadas por vía materna, si la duda es que sean abuela materna y nieta frente a que no tengan ninguna relación entre ellas.

Por su particular tipo de herencia uniparental materna cada ADNmt se define por su secuencia o haplotipo y se comporta como un único *locus*, todas las copias de un individuo son iguales y todos los individuos de un mismo linaje materno comparten la misma secuencia, salvo casos excepcionales consecuencia de un fenómeno de mutación o heteroplasmia, es decir, la convivencia de dos formas de ADN en una misma célula (Ivanov et al., 1996).

El primer ejemplo documentado de puntos de mutación heteroplásmicos fue reportado en 1994 (y posteriormente ampliado en 2009) durante la identificación de los restos esqueléticos del Zar Nicolás II (Gill et al., 1994; Coble et al., 2011; Rogaev et al., 2009).

La región en la que habitualmente se centran los análisis forenses con un tamaño aproximado de 1.000pb es no codificante y muy polimórfica, y recibe el nombre de región control

o *d-loop*. En esta parte del ADNmt podemos hallar dos tipos de polimorfismos: de secuencia, que se concentran en esta región del genoma mitocondrial; y de longitud, dando lugar a tractos homopoliméricos localizados en posiciones características.

Es relativamente frecuente hallar una o más diferencias en la secuencia del ADNmt en la línea materna de una familia e incluso en familiares muy cercanos, por lo tanto, es importante conocer la tasa de mutación especialmente en aquellos casos en los que las diferencias de las secuencias que se están cotejando son mínimas (una sola base) para disminuir el potencial de falsas exclusiones.

La nomenclatura de las variantes detectadas con respecto a la secuencia de referencia revisada (rCRS) (Andrews et al., 1981; Andrews et al., 1999) se realiza por consenso internacional siguiendo las pautas marcadas por el trabajo de Parson y colaboradores de 2014 (Parson et al., 2014).

Igual que en el caso de los marcadores de C-Y, es necesario el uso de una base de datos dada la variabilidad en la secuencia de nucleótidos del ADN mitocondrial para obtener una estimación adecuada de la frecuencia de un haplotipo determinado.

En la actualidad se encuentra en funcionamiento la base de datos EMPOP (EDNAP Mitochondrial DNA Population Database) (Parson et al., 2004) sometida a exhaustivos controles de calidad y en la que es posible realizar búsquedas de haplotipos procedentes de todo el mundo, lo que facilita la estimación de la frecuencia del haplotipo en estudio.

## POLIMORFISMOS DE UN SOLO NUCLEÓTIDO (SNP)

Las variaciones puntuales en secuencia reciben el nombre de polimorfismos de un solo nucleótido o SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) y actualmente tienen un papel importante en la diferenciación de individuos.

Hasta hace algunos años los estudios de ADN se llevaban a cabo con marcadores basados en las electroforesis clásicas y requerían de cierta calidad de las muestras para poder ser utilizados. Estos marcadores no son eficientes en el caso de muestras degradadas o críticas, puesto que el ADN fragmentado impide que la reacción tenga lugar con éxito.

Para estas muestras se han desarrollado aplicaciones específicas con el objetivo de minimizar la problemática del ADN fragmentado y optimizando su resultado mediante el uso de estrategias de análisis distintas.

Una de estas estrategias, especialmente útil en la investigación criminal por las características de las muestras que se analizan de rutina, son los llamados polimorfismos de inserción/delección (InDel) con un potencial considerable en el campo de la identificación, puesto que combinan las características deseables tanto de STR como de SNP.

Al ser marcadores bialélicos solamente presentan dos posibles alelos para cada locus, lo que debe verse necesariamente compensado por el número de marcadores utilizados para alcanzar valores de probabilidad equivalentes a 15 marcadores STR.

Sus características los hacen idóneos para el análisis de muestras límite, ya que su desarrollo en sistemas *multiplex* es más sencillo que con otros marcadores, su análisis en secuenciadores de nueva generación en formato microchip ya se aplica y los fragmentos producto de la amplificación pueden ser menores de 100pb.

Estos marcadores desarrollados recientemente presentan las mismas características que otros utilizados habitualmente en el ámbito forense además de otras ventajas:

- Amplia distribución en el genoma.
- Localización en regiones intergénicas no codificantes.
- Altamente polimórficos.
- Utilizan la misma química que los marcadores actuales en uso.
- Permiten el mismo flujo de trabajo en el laboratorio que los marcadores STR.
- Aptos para la automatización y análisis con tecnologías masivas.
- Presentan longitud variable, entre 2 y 5pb, por lo que generan amplicones menores a 160pb a diferencia de marcadores tipo STR.
- Localizados en zonas no codificantes.
- Amplificación con ADN degradado y pequeñas cantidades de ADN (hasta 0.1ng).
- Elevado poder de discriminación.
- Presentan diferencias en las frecuencias alélicas entre grupos poblacionales separados geográficamente.
- Uso como herramienta complementaria en análisis de parentesco.

Los *multiplex* son diseñados para analizar simultáneamente un número variable de marcadores InDel en una única reacción de PCR y en un único tubo, permitiendo su genotipado mediante electroforesis capilar, ambas técnicas de uso básico en cualquier laboratorio de genética molecular, incluidos por supuesto los de genética forense.

Estos marcadores complementan los utilizados actualmente, permitiendo una simplificación de los análisis que se realizan en la actualidad a través de SNP y completando el abanico de marcadores utilizados en forense.

## VALORACIÓN ESTADÍSTICA DE LA PRUEBA DE ADN

En paralelo a la introducción de la prueba de ADN, también se produjo una evolución en el pensamiento de los científicos para la comunicación de los resultados y las conclusiones, esa expresión de la certidumbre se realiza a través del estándar de la probabilidad.

En el ámbito de la criminalística, al comparar los perfiles genéticos obtenidos a partir de evidencias biológicas con el perfil genético de referencia de uno o más individuos, puede suceder que los perfiles genéticos coincidan o no para todos los marcadores analizados.

En el caso de no coincidencia, se puede decir que el vestigio biológico no corresponde al individuo cotejado. Sin embargo, en caso de coincidencia o *match* es necesario determinar el nivel de significación de esa coincidencia, haciendo necesaria la valoración probabilística de la coincidencia de perfiles.

Cuando se trata de un caso de investigación biológica de paternidad o maternidad sucede algo parecido, aunque en este caso la valoración probabilística si no existen incompatibilidades, es un poco más compleja, ya que es necesario tener en cuenta una serie de factores como pueden ser la existencia de mutaciones, alelos nulos, o subestructura poblacional. Además, también se presentan casos de paternidades o maternidades indirectas a través de familiares u otros estudios biológicos de parentesco (como por ejemplo hermandades), que merecen un desarrollo un poco más complejo.

Para una correcta valoración estadística de la prueba de ADN es necesario disponer de una base de datos fiable sobre las frecuencias de los alelos presentes en la población de referencia

del país o zona geográfica a la que pertenecen los individuos que se han analizado. Estas bases se construyen mediante la realización de estudios poblacionales basados en el tipado de numerosos individuos no relacionados. En la actualidad hay multitud de publicaciones que aportan estos datos y están disponibles para la comunidad científica.

Estos cálculos estadísticos se pueden realizar a mano con las fórmulas que se encuentran en la bibliografía (Carralero Yepes 2006), pero lo más habitual es utilizar alguno de los múltiples softwares especializados que permiten calcular probabilidades de parentesco y de identificación.

Los dos programas más utilizados por los laboratorios según datos obtenidos del ejercicio intercomparativo del GHEP-ISFG, son Genética Forense Final (<http://antonio.scienceontheweb.net/>) y Familias (<http://familias.no/espana/>). Ambos disponen de módulos para el cálculo de probabilidades y verosimilitudes en casos de los que se conocen los perfiles genéticos de todos o algunos individuos.

## RECOGIDA, ENVÍO Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Aunque la calidad de la muestra es siempre el limitante para la obtención de resultados, son esenciales los procesos de recogida, conservación y envío de dichas muestras al laboratorio. Igualmente, la admisibilidad de la prueba en los tribunales de justicia depende, en gran medida, de cómo se hayan realizado dichos procesos y del cumplimiento e inviolabilidad de la Cadena de Custodia.

Entre los años de 1999 y el 2000 tras la reunión anual del GHEP-ISFG se constituyó un grupo de trabajo para el desarrollo de unas recomendaciones para la recogida de muestras con fines de identificación genética.

Tras la puesta en común del documento quedaron establecidos un conjunto de sugerencias y consejos para la recogida y remisión de muestras, que permiten garantizar su autenticidad e integridad, reuniendo en sus apartados la recogida de indicios biológicos de interés criminal, la recogida de muestras en caso de investigación biológica de paternidad, los sistemas de empaquetado y preservación de las muestras hasta su envío al laboratorio, así como la documentación requerida según los casos. Es una fase

de especial trascendencia y debe realizarse por personal especializado previamente formado.

Este documento establece, además, el marco consensuado para conseguir altos estándares de calidad en estos procesos, permitiendo al mismo tiempo garantizar el cumplimiento de la ley de protección de datos, así como la privacidad y confidencialidad. Estas recomendaciones deben revisarse y actualizarse de forma periódica y su aplicación debe llevarse a cabo por cada laboratorio según sus propias características.

Algunos años después se trabajó en un documento similar para las grandes catástrofes. En estos casos, además de permitir su identificación, es importante llevar a cabo de forma sistemática la selección de muestras de referencia (*ante-mortem* y familiares) necesarias para su identificación.

Ambos documentos están disponibles en el apartado de publicaciones de la web del grupo (<https://ghep-isfg.org/>). Existen documentos equivalentes desarrollados por ENFSI, SWGDAM, Interpol y otras instituciones del ámbito.

## SISTEMA DE CALIDAD EN EL LABORATORIO: NORMA ISO/IEC 17025

Enmarcado en el programa de calidad, los laboratorios deben demostrar que son capaces de producir sistemáticamente perfiles de ADN fiables. Para los laboratorios que aportan perfiles genéticos en las bases de datos nacionales, la acreditación es además obligatoria.

La normativa aborda cuestiones diversas relacionadas con la calidad, como son la formación y competencia del personal; el estado y características de las instalaciones en las que se lleva a cabo el análisis; el equipamiento del laboratorio, su correcta calibración y uso; la validez, exactitud, reproducibilidad, selectividad y especificidad de los protocolos y procedimientos utilizados, además de la manipulación de las muestras analizadas y los reactivos utilizados. La norma presta gran atención a la trazabilidad y a las cuestiones relacionadas con la integridad de la cadena de custodia.

La acreditación se obtiene a través de una evaluación externa por un organismo imparcial en un proceso de verificación de la normativa, y a partir de ese momento los laboratorios, mediante un programa de auditorías internas y ex-

ternas, deberán demostrar que siguen cumpliendo las normas.

No debe olvidarse que, aunque la obtención de la acreditación es un proceso costoso y que requiere de mucho esfuerzo, se concreta en un alcance que incluye los ensayos para los que el laboratorio es experto y para los que puede garantizar la fiabilidad. Cualquier ensayo fuera de este alcance deberá indicarse como *fuera de la acreditación*.

La norma internacional ISO/IEC 17025 fue desarrollada por ISO (International Organization for Standardization) junto con ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) con base en la serie de normas ISO 9000, aunque introduce una serie de requisitos técnicos imprescindibles para lograr la acreditación de los laboratorios de ensayo y calibración. Esta acreditación garantiza la competencia técnica y la fiabilidad y validez de los resultados en los laboratorios que realizan pruebas de ADN e identificación genética, respondiendo a las exigencias de los organismos o entidades y dotándose de credibilidad ante sus clientes.

El objetivo principal de la Norma ISO 17025 es garantizar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados analíticos. Para ello se vale tanto de requisitos de gestión como requisitos técnicos que inciden sobre la mejora de la calidad del trabajo realizado en los laboratorios, así como en sus actividades administrativas y técnicas.

## MEDIDAS PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN

Uno de los principales problemas en los análisis de ADN es el de la contaminación, debido a que frecuentemente se trabaja con material altamente degradado y escaso. La contaminación con ADN exógeno supone un gran problema en estos casos porque la cantidad de ADN endógeno en la muestra es mínima.

Como medidas principales para evitar la contaminación se debe tener en cuenta la necesidad de separación de las distintas áreas de trabajo en el laboratorio (pre-PCR muestras estándar, pre-PCR muestras críticas, PCR y post-PCR); el uso de pipetas de desplazamiento positivo y puntas con filtro, cámaras de flujo laminar, material estéril, guantes, mascarilla y batas durante la manipulación de las muestras; así como la inclusión de controles (negativos y positivos en

todos los procesos) para la comprobación de los procesos de análisis.

Debe tenerse en cuenta además la posible contaminación con ADN humano, producida con mayor probabilidad durante la recogida de muestras por parte del personal especializado. Esta posibilidad puede evitarse en la mayoría de las ocasiones gracias a los elementos de protección individual como batas, guantes, mascarillas, etc.

Igualmente, es necesario disponer de los perfiles genéticos de todo el personal del laboratorio para los marcadores de uso habitual, de manera que en caso de producirse una contaminación, esta sea detectada lo más rápido posible.

Puede suceder también que la contaminación haya tenido lugar previamente a la recogida de muestras, debido al contacto con otra presente o bien por alguna circunstancia que no pueda evitarse; en estos casos y siempre que sea posible se descartará la superficie externa de las muestras analizando la menos expuesta o se elegirán muestras más adecuadas (por ejemplo, piezas dentales).

En los casos en que se trabaje con muestras de este tipo o muestras consideradas límite, se asegurarán los resultados obtenidos realizando múltiples réplicas de los análisis y comprobando que se obtiene el mismo resultado.

La contaminación también puede tener lugar en el laboratorio y durante el proceso de análisis de la muestra, bien sea por la persona que está manipulando las muestras o por la existencia de ADN humano en el ambiente del laboratorio. Para evitar la contaminación y como medidas preventivas, es necesario incluir en todos los ensayos un control positivo y un control negativo, de modo que puedan aceptarse los resultados con la seguridad de que el resultado es correcto y no pertenece a un ADN exógeno.

## REFERENCIAS CITADAS

- Anderson S, Bankier AT, Barrell BG, de Bruijn MH, Coulson AR, Drouin J, Eperon IC, Nierlich DP, Roe BA, Sanger F, Schreier PH, Smith AJ, Staden R, Young IG. 1981. Sequence and organization of the human mitochondrial genome. *Nature* 290(5806):457-65.
- Andrews RM, Kubacka I, Chinnery PF, Lightowlers RN, Turnbull DM, Howell N. 1999. Reanalysis and revision of the Cambridge reference sequence for human mitochondrial DNA. *Nat Genet* 23(2):147.
- BOE-A-2008-19992
- Butler JM. 2015. US initiatives to strengthen forensic science&international standards in forensic DNA. *Forensic Sci*

## NUEVOS RETOS EN GENÉTICA FORENSE

El ADN está presente en cualquier lugar, y además de la evidente transferencia que representa una gota de sangre, por ejemplo, pequeñas cantidades pueden hallarse en objetos y superficies procedentes de estornudos, células de la piel, o por contacto con otra persona y depositado previamente a los hechos y sin relación con el mismo.

Un ejemplo de transferencia secundaria lo encontramos en el caso de Meredith Kercher, asesinada en el año 2007 con un cuchillo que presentaba trazas de ADN de Amanda Knox, su compañera de piso. En el juicio finalmente se aceptó que el ADN podía haber llegado al usarlo para cortar pan (Gill 2016).

Otro ejemplo de transferencia por contaminación es el del fantasma de Heilbronn, Alemania. El perfil genético de la persona que se consideraba una asesina en serie fue hallado en numerosas escenas del crimen en Austria, Francia y Alemania, desde 1993 hasta 2009. A finales de marzo de 2009, los investigadores concluyeron que el ADN recuperado estaba presente en los bastoncillos de algodón utilizados para las tomas de muestras de ADN.

Por otro lado, en aquellos casos en los que el ADN hallado en el escenario del crimen no coincide con ninguno de la base de datos u otros sospechosos, puede determinarse el fenotipo, haciendo predicciones del aspecto de un individuo (color de ojos y pelo, etc.) (Kayser 2015), utilizado únicamente en la investigación preliminar de algunos casos; así como de su procedencia geográfica, utilizando marcadores informativos de ancestría, comunes entre individuos de algunas partes del mundo comparados con otros. Por ahora, la fiabilidad de los análisis se reduce a los grandes continentes, sin poder distinguir de qué país procede un individuo (Phillips 2015).

- Int Genet 18: 4-20.
- Carracedo, A, & Prieto, L. (2014). Valoración de la prueba genética. In M. Casado, & M. Guillén (Eds.), ADN forense: Problemas éticos y jurídicos (pp. 145–156). Barcelona: Observatorio de Bioética y Derecho, Universidad de Barcelona.
- Carralero Yepes J. 2006. Matemáticas aplicadas a la genética forense. Ministerio del Interior. España.
- Coble MD, Loreille OM, Wadhams MJ, Edson SM, Maynard K, Meyer CE, Niederstätter H, Berger C, Berger B, Falsetti AB, Gill P, Parson W, Finelli LN. 2009. Mystery solved: the identification of the two missing Romanov children using DNA analysis. *PLoS One* 4(3):e4838
- Editorial. 2018. Family connections. *Nature* 557:5
- Egeland T, Mostad P, Mevåg B, Stenersen M. 2000. Beyond traditional paternity and identification cases. Selecting the most probable pedigree. *Forensic Sci Int* 110(1):47-59.
- EUROFORGEN. (2017). Making sense of forensic genetics. London: Sense about Science. EUROFORGEN. Retrieved from <http://senseaboutscience.org>
- Evett, I. W. (1995). Avoiding the transposed conditional. *Science and Justice*, 35(2), 127–131. doi: 10.1016/S1355-0306(95)72645-4
- Gill P, Ivanov PL, Kimpton C, Piercy R, Benson N, Tully G, Evett I, Hagelberg E, Sullivan K. 1994. Identification of the remains of the Romanov family by DNA analysis. *Nat Genet* 6(2):130-5.
- Gill P. 2016. Analysis and implications of the miscarriages of justice of Amanda Knox and Raffaele Sollecito. *Forensic Sci Int Genet* 23: 9-18
- Home Office. 1998. DNA profiling in immigration casework. Report of a pilot trial by the Home Office and Foreign and Commonwealth Office. London: The Home Office.
- Ivanov PL., Wadhams MJ., Roby RK., Holland MM., Weedn VW. and Parsons TJ. 1996. Mitochondrial DNA sequence heteroplasmy in the Grand Duke of Russia Georgij Romanov establishes the authenticity of the remains of Tsar Nicholas II. *Nature Genetics* 12: 417-420.
- Jeffreys AJ, Allen MJ, Hagelberg E, Sonnberg A. 1992. Identification of the skeletal remains of Josef Mengele by DNA analysis. *Forensic Sci Int* 56:65-76.
- Jeffreys A J, Wilson V, Thein S L. 1985. Hypervariable minisatellite regions in human DNA. *Nature*, 314, 67–73.
- Kayser M, De Knijff P. 2011. Improving human forensics through advances in genetics, genomics and molecular biology. *Nature Reviews Genetics*, 12(3), 179–192.
- Kayser M. 2015. Forensic DNA Phenotyping: Predicting human appearance from crime scene material for investigative purposes. *Forensic Sci Int Genet* 18: 33-48
- Kling D, Tillmar A, Egeland T. 2014. Familias 3 - Extensions and new functionality. *Forensic Sci Int Genet* 13:121-127.
- Ley Orgánica 10/2007, de 8 de octubre, reguladora de la base de datos policial sobre identificadores obtenidos a partir del ADN. (2007). Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-17634>
- Mullis KB, Faloona FA. 1987. Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase-catalyzed chain reaction. *Methods Enzymol* 155:335-50.
- Niemieca, E, Howard HC. 2016. Ethical issues in consumer genome sequencing: Use of consumers' samples and data. *Appl Transl Genom* 8:23–30.
- org/wp-content/uploads/2017/01/making-sense-of-forensic-genetics.pdf
- Parson W, Brandstätter A, Alonso A, Brandt N, Brinkmann B, Carracedo A, Corach D, Froment O, Furac I, Grzybowski T, Hedberg K, Keyser-Tracqui C, Kupiec T, Lutz-Bonengel S, Mevåg B, Ploski R, Schmitter H, Schneider P, Syndercombe-Court D, Sørensen E, Thew H, Tully G, Scheithauer R. 2004. The EDNAP mitochondrial DNA population database (EMPOP) collaborative exercises: organisation, results and perspectives. *Forensic Sci Int* 139(2-3):215-26.



- Parson W, Gusmão L, Hares DR, Irwin JA, Mayr WR, Morling N, Pokorak E, Prinz M, Salas A, Schneider PM, Parsons TJ; DNA Commission of the International Society for Forensic Genetics. 2014. DNA Commission of the International Society for Forensic Genetics: revised and extended guidelines for mitochondrial DNA typing. *Forensic Sci Int Genet* 13:134-42.
- Phillips, C., Prieto, L., Fondevila, M., Salas, A., Gómez-Tato, A., Álvarez-Dios, J., ... Lareu, M. V. (2009). Ancestry analysis in the 11-M Madrid bomb attack investigation. *PLOS One*, 4(8), e6583. doi: 10.1371/journal.pone.0006583
- Phillips C. 2015. Forensic genetic analysis of bio-geographical ancestry. *Forensic Sci Int Genet* 18: 49-65
- Ram N, Guerrini CJ, McGuire AL. 2018. Genealogy databases and the future of criminal investigation. *Science* 360(6393):1078-1079.
- Real Decreto 1977/2008, de 28 de noviembre, por el que se regula la composición y funciones de la Comisión Nacional para el uso forense del ADN. (2008). Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=>
- Recomendaciones para la recogida y envío de muestras con fines de identificación genética. 2000. Grupo Español y Portugués de la International Society of Forensic Genetics (GEP-ISFG).
- Recomendaciones para la recogida y remisión de muestras con fines de identificación genética en grandes catástrofes. 2014. Grupo Español y Portugués de la International Society of Forensic Genetics (GEP-ISFG).
- Roewer L, Krawczak M, Willuweit S, Nagy M, Alves C, Amorim A, Anslinger K, Augustin C, Betz A, Bosch E, Cagliá A, Carracedo A, Corach D, Dekarelle AF, Dobosz T, Dupuy BM, Füredi S, Gehrig C, Gusmão L, Henke J, Henke L, Hidding M, Hohoff C, Hoste B, Jobling MA, Kärger HJ, de Knijff P, Lessig R, Liebeherr E, Lorente M, Martínez-Jarreta B, Nieves P, Nowak M, Parson W, Pascali VL, Penacino G, Ploski R, Rolf B, Sala A, Schmidt U, Schmitt C, Schneider PM, Szibor R, Teifel-Greding J, Kayser M. 2001. Online reference database of European Y-chromosomal short tandem repeat (STR) haplotypes. *Forensic Sci Int* 118(2-3):106-13.
- Rogaev EI, Grigorenko AP, Moliaka YK, Faskhutdinova G, Goltsov A, Lahti A, Hildebrandt C, Kittler EL, Morozova I. 2009. Genomic identification in the historical case of the Nicholas II royal family. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106(13):5258-63.
- The International Association for Identification. (2018). PCAST report – Forensic science in criminal courts: Ensuring scientific validity of feature-comparison methods. Retrieved from [https://www.theiai.org/president/201609\\_PCAST\\_Forensic\\_Science\\_Report\\_FINAL.pdf](https://www.theiai.org/president/201609_PCAST_Forensic_Science_Report_FINAL.pdf)
- Welch LA, Gill P, Phillips C, Ansell R, Morling N, Parson W, Palo JU, Bastisch I. 2012. European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI): Evaluation of new commercial STR multiplexes that include the European Standard Set (ESS) of markers. *Forensic Sci Int Genet* 6(6): 819-26.
- Willuweit S, Roewer L. 2015. The new Y Chromosome Haplotype Reference Database. *Forensic Sci Int Genet* 15, 43-8.



# S4

## Sección 4: Innovación y aplicaciones

- |  |     |   |     |
|--|-----|---|-----|
| 17. Aplicaciones de la Histomorfología de Hueso No Descalcificado en las Ciencias Forenses           | 311 | 20. El Estado del Arte de la Predicción Fenotípica a través del ADN para Uso Forense                        | 363 |
| 18. Fotografía científica aplicada a la antropología forense: hacia un protocolo basado en evidencia | 330 | 21. Reconocimiento Automático de Estructuras Anatómicas por Medio de Morfometría Geométrica y Deep Learning | 376 |
| 19. Introducción al Concepto y Cálculo del Error de Medición en Estudios Morfológicos                | 351 | 22. Identificación Facial Forense   | 407 |
|  |     | 23. La Percepción Remota en Investigaciones Forenses  | 432 |

# 18

## Aplicaciones de la Histomorfología de Hueso No Descalcificado en las Ciencias Forenses

Vera Tiesler<sup>1</sup>

Raúl Alejandro López Pérez<sup>1</sup>

Julio Roberto Chi Keb<sup>1</sup>

Palabras clave: histomorfología de hueso no-descalcificado, diagénesis, determinación de edad a la muerte, histopatología.

### RESUMEN

La histomorfología de hueso no decalcificado se define como la rama de la histología que mide y cuenta rasgos morfológicos en secciones delgadas obtenidas de secciones empotradas de tejido óseo sin previa decalcificación. Este capítulo da un panorama de aquellas aplicaciones del estudio de secciones óseas no decalcificadas que son de relevancia para la ciencia forense mexicana. Aparte de algunos conceptos básicos de la histología de hueso humano y los procedimientos técnicos de elaboración y lectura de las secciones, se tratan estudios tafonómicos y diagenéticos, determinaciones de hueso humano vs. faunístico, histopatología y determinaciones histomorfométricas de la edad a la muerte en adultos.

### ABSTRACT

Histomorphology in undecalcified bone defines a line of research in histology that measures morphological attributes in thin sections that have been embedded without previous decalcification. This chapter provides an overview of those applications that have proved to be of relevance for Mexican

forensic sciences. Apart from a number of basic concepts in human bone histology and technical procedures in elaborating and reading thin sections, we cover bone taphonomy and diagenesis, distinction of human vs. animal bone, histopathology, and histomorphometric determinations of age-at-death among adults.

## INTRODUCCIÓN

La histomorfología de hueso no-descalcificado se define como una rama cuantitativa de la histología que se dedica a la valoración descriptiva y medición de atributos morfológicos en secciones delgadas. En las últimas tres décadas, la histomorfología del tejido óseo se ha establecido y consolidado, insertándose como línea de trabajo en la biología humana y bioarqueología, la biomedicina, la odontología y las ciencias forenses (Aufderheide y Rodríguez-Martín 1998; Grupe y Garland 1993; Haglund y Sorg 1997, 2001; Ruff 2000; Stout y Simmons 1979; Tiesler 2012; Tiesler et al. 2006). Su mérito radica en las posibilidades que ofrece en la identificación de restos óseos incompletos, fragmentados o minúsculos. La histomorfometría de hueso no-descalcificado además facilita la cuantificación objetiva de la información generada, del modo que permite formular inferencias sólidas y objetivas en aquellos casos de criminalística que permiten su aplicación.

Como línea de trabajo y procedimiento analítico, la histomorfología de hueso no-descalcificado fue antecedida por estudios que procesaban huesos descalcificados mediante inmersión en medios ácidos. A mediados del siglo pasado aparece un primer estudio que reconoce tejidos y células óseas en secciones microscópicas (Graf 1949). Recientemente, se ha visto beneficiada por los avances en computación junto con el advenimiento de nuevas técnicas de digitalización, reconocimiento automatizado y manejo estadístico. En México son todavía contados los estudios histomorfológicos en materia de paleohistopatología, tafonomía y tratamientos culturales del cuerpo humano (Mansilla y Schultz 1999; Romano et al. 1974; Pijoan et al. 2004; Schultz et al. 1996). A nivel nacional no había hasta hace poco tiempo una línea de trabajo que haya utilizado la lectura de secciones delgadas en restos humanos.

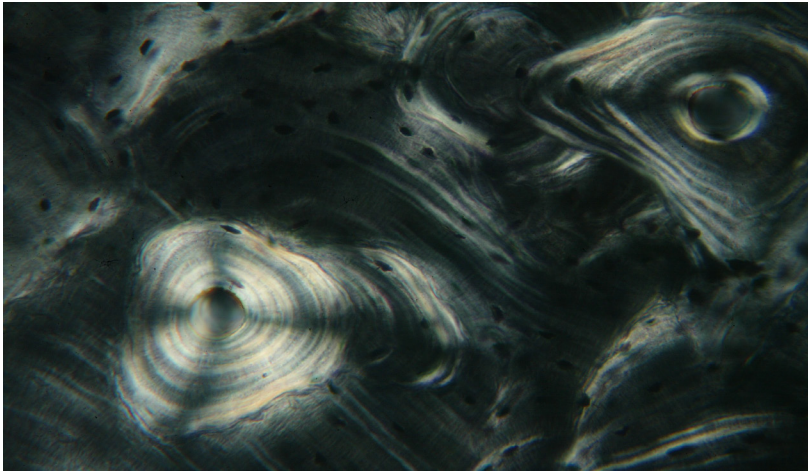
Seguidamente se ofrece un panorama de una serie de técnicas analíticas de relevancia para la ciencia forense mexicana que operan en secciones óseas no-descalcificadas. Aparte de algunos conceptos básicos de la histología de hueso humano y los procedimientos técnicos de

elaboración y lectura de las secciones, se revisan las aproximaciones histomorfológicas a la tafonomía y diagénesis humana, determinaciones histológicas de hueso humano vs. faunístico, la histopatología, así como determinaciones histomorfométricas de la edad a la muerte en adultos y subadultos.

## PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y SECCIONES DELGADAS

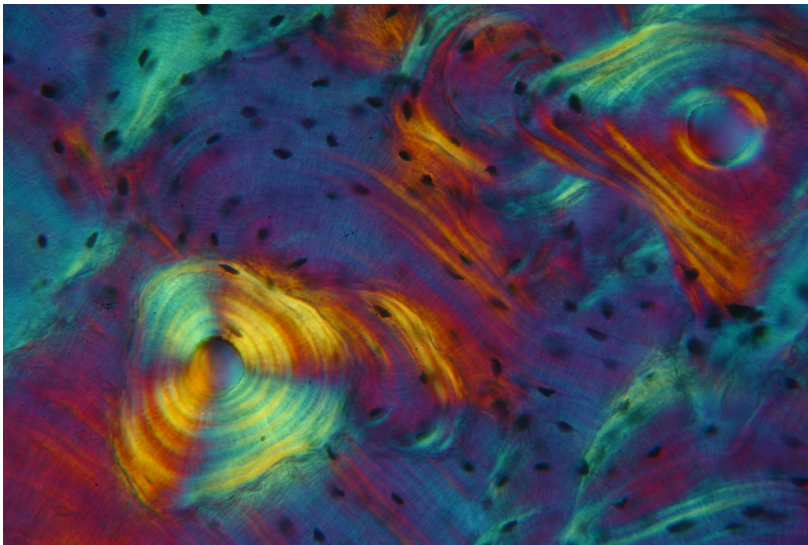
El estudio histológico del tejido óseo requiere de un sofisticado equipo de preparación y medición óptica. Por las características opacas del tejido óseo aún en estado calcificado es necesario reducir las secciones hasta obtener láminas histológicas sumamente delgadas entre 40 a 70 micras de espesor. Solo éstas permiten la traslucidez de los componentes rígidos mineralizados al lado de las fibras de colágeno. Para sustituir la tinción, las secciones no descalcificadas son iluminadas con un equipo óptico de polarización que permite resaltar y manipular visualmente lo que resta de las estructuras (figuras 1 y 2).

La preparación de las secciones óseas debe seguir un protocolo establecido y validado previamente, para cuyos fines se refiere en estas líneas el protocolo descrito en el manual de histomorfología del Laboratorio de Bioarqueología e Histología de la Universidad Autónoma de Yucatán (Tiesler et al. 2006; véase también Paine 2007). El primer paso del procesamiento corresponde la documentación de la muestra ósea a analizar. En una cédula técnica de registro se anota el nombre y responsable del proyecto, procedencia y estado de conservación, caracterización del fragmento a estudiar, su peso y sus medidas. Sumado a la documentación antes descrita, también se realiza un registro fotográfico detallado además de una réplica, sobre todo al tratarse de material dental. El estudio histomorfológico es semi-destrutivo por lo que un registro detallado y minucioso es imperante. Vale la pena mencionar que se sigue además un protocolo de seguridad, se utiliza: lentes de protección ocular, cubre bocas (filtro de carbón), prensa para sujetar la muestra, segueta de hoja



**Figura 1.** Tejido cortical humano de adulto bajo luz polarizada. Objetivo 20x, luz polarizada

*Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY*



**Figura 2.** Tejido cortical humano de adulto bajo luz polarizada y placa lambda. Objetivo 20x, luz polarizada

*Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY*

fina (filo de 28 dientes por pulgada), Stryker® cast cutter 840.

Una vez realizado del corte (aproximadamente entre 2 y 3 cm) se procede a sumergir el fragmento en una solución de Xileno por un lapso de unas horas para la limpieza y deshidratación de la pieza cortada. La resina Biodur® se genera, combinando E12 (resina base) con E1 (catalizador); la proporción de ambas es la siguiente: por cada 100 g de Biodur® E12 agregar 27 g de Biodur® E1. Se mezclan por un lapso de 15 minutos, evitando se produzcan burbujas o grumos la distorsionen la calidad de la mezcla. Una vez lista la resina se procede a verter la mezcla en contenedores (moldes) que ya contienen las muestras. Tras un proceso de extracción de burbujas mediante vacío (figura 3) se procede a un secado y endurecimiento controlado a 40° C durante cuatro semanas.

Una vez secado el bloque que contiene el segmento, se extrae del molde para tener un bloque de resina Biodur® sólido y que permite realizar cortes de 2 mm. Los bloques ya sólidos, son cortados en una cortadora de disco de baja ve-

locidad marca ISOMET BUEHLER® (figura 4). Posteriormente, dichos cortes son pegados en un portaobjetos. La muestra una vez fija se procede a lijar, primero sobre una lija de 180 U; luego con una de 400 U, y así con una 500 U, 1200 U, 2000 U y por último 4000 U (nota: la lija de 180 U produce una abrasión mucho mayor que una lija de 4000 U la cual tiene una textura fina). Para conocer con detalle los procedimientos de la preparación, obtención y el análisis de secciones delgadas se puede consultar el Manual de Histomorfología en hueso no descalcificado (Tiesler et al. 2006).

### VALORACIÓN TAFONÓMICA EXPOSICIÓN TÉRMICA

El término tafonomía fue acuñado en 1940 por primera vez por el paleontólogo ruso I. Efremov, para denotar la subdisciplina de la paleontología que se consagra en los procesos envueltos en la sub- o fosilización de los restos orgánicos, es decir, aquellos procesos predeposicionales, deposicionales, y postdeposicionales, con la finalidad



**Figura 3.** Bomba y cámara de vacío

Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY



**Figura 4.** Cortadora Buehler, ISOMET de baja velocidad

*Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY*

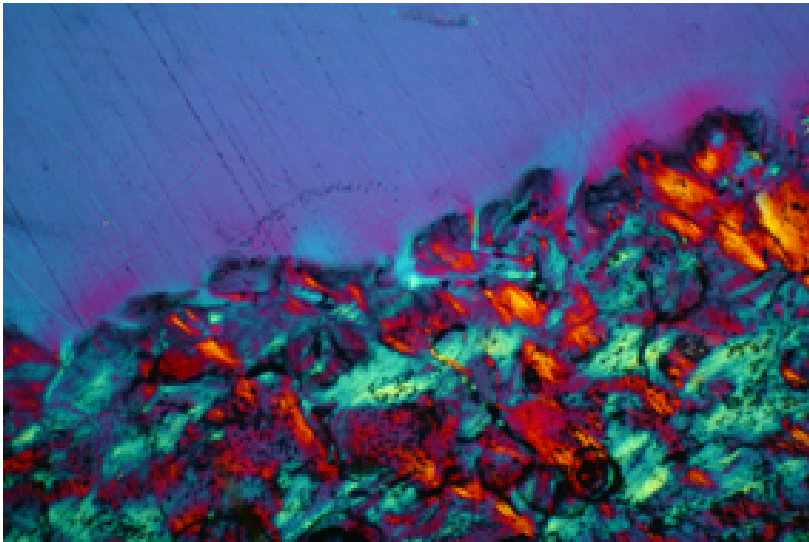


de diferenciar las acciones culturales de las biológicas para establecer pautas en la interpretación de los restos óseos humanos emplazados. Actualmente, los estudios tafonómicos se han incrementado desde diversas perspectivas como son la ciencia forense, la arqueotanatología y la propia paleontología, las cuales se han centrado en las transformaciones diagenéticas y tratamientos culturales que condicionan la preservación u opuestamente la destrucción de los restos materiales en diversos contextos (Brugal 2017; Duda 2009; Gifford 1981; Haglund y Sorg 1997; Herrera 2014; Schmidt y Symes 2008; Tiesler 2017).

En el estudio de la tafonomía, se sitúa la diagénesis, que se encarga del estudio de los procesos posteriores a la muerte que modifican las propiedades físicas y químicas del hueso. Los daños producidos por el ambiente en el espacio de emplazamiento ocasionan cronológicamente alteraciones en el hueso, hasta poder deconstruir la morfología original del elemento óseo. Los cambios macroscópicos e histológicos están acompañados por una amplia gama de factores que dependen de las regiones geográficas, la (micro) fauna, la vegetación, formas de deposición,

el tiempo transcurrido, la temperatura, el pH del suelo, la oxigenación y ventilación del sustrato, así como espacios de emplazamiento caracterizados por ser rellenados, vacíos, inmersos en agua o expuestos al fuego. En las investigaciones diagenéticas principalmente son dos vertientes de factores que se analizan, bióticos y abióticos, fenómenos que conducen a la preservación o destrucción de los restos óseos humanos por procesos de reducción o sustitución. Incluso, el propio cuerpo debe ser considerado como un factor que modifica la posición original del emplazado esquelético, al ser en él, donde se inician los procesos de putrefacción, esquelización y destrucción del cuerpo.

El daño microestructural inicialmente suele originarse como producto de la contaminación con microorganismo. A nivel histológico, organismos como las bacterias, hongos, insectos o raíces suelen ocasionar algún deterioro en el hueso. En contextos acuáticos, lodosos o en los casos donde el cadáver fue enterrado haciendo contacto directo con el suelo, interesa la congestión con el sedimento y la sustitución iónica de masa ósea con minerales del entorno. Por otra parte, en los contextos de intemperismo



**Figura 5.** Corte histológico con daño superficial por exposición a la intemperie (weathering), Cementerio Xoclán, Mérida, Yucatán. Objetivo 4.5x

Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY

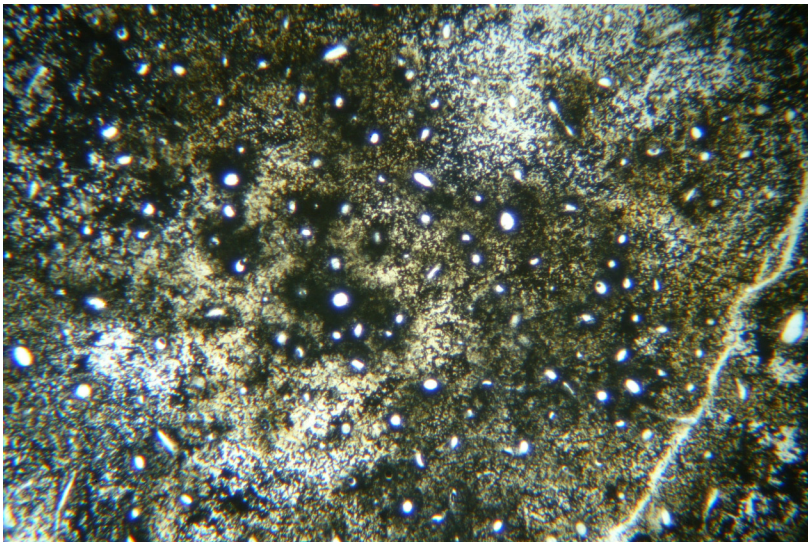
(figura 5), climas extremos o ambientes cambiantes se genera un agrietamiento en el hueso por la tensión interna y la acción de hidratación y deshidratación de los cristales (Pfeiffer 2000).

Una escala estandarizada para la cuantificación de la diagénesis se desarrolló recientemente en el Laboratorio de Identificación Esquelética Humana de la Universidad de Missouri (Streeter 2005). Ya ha probado ser útil en la evaluación de secciones paleohistológicas. Estos son clasificados según una escala que va de '0' a '4', donde '0' representa la ausencia completa de alteración diagenética y '4' indica un daño histológico completo (figura 6, tabla 1). La identificación del grado de alteración informa sobre las posibilidades analíticas y de este modo guía la selección de los métodos en el estudio del tejido orgánico original, como son las estructuras utilizadas para estimar la edad a la muerte (Suzuki y Tiesler 2016).

Otro tipo de alteraciones tafonómicas pueden generarse por el mismo hombre. Para los objetivos de la investigación forense hacemos hincapié en este capítulo en la exposición por fuego directo o indirecto del hueso (Bass 1984, Brandtmiller y Buikstra 1984; Schmidt y Symes 2008). Existe una serie de estudios experimenta-

les realizados desde una perspectiva bioarqueológica basándose en la observación convencional y apoyándose de la histología y microscopía. Desde hace una década, el grupo de investigadores y estudiantes del Laboratorio de Bioarqueología e Histología de la Universidad Autónoma de Yucatán, en conjunto con el Cinvestav Unidad Mérida, basados en la observación convencional, con el apoyo de la histología y microscopía continúan indagando a través de una serie de estudios experimentales acerca de los cambios osteomorfológicos y tonalidades en la superficie ósea que permitan diferenciar las diferentes temperaturas de exposición al fuego (Canto 2003; Medina 2005; Medina y Folan 2005; Medina et al. 2005; Tiesler 2018).

Los cortes histológicos efectuados en hueso experimentalmente expuesto a diferentes tipos de calor no revelan cambios en las estructuras internas del hueso hervido. Variaciones óseas resultan ser evidentes tan solo a partir de un calentamiento a 200° C, correspondiente al pasado. En cuanto a los rasgos presentes bajo la luz polarizada del microscopio es observable una coloración rojiza homogénea, sin manifestar cambios estratigráficos en el área de la compacta



**Figura 6.** Corte histológico con daño total por sustitución en una diáfisis femoral de Xcambó, Yucatán. Objetivo 4.5x

Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY

**Tabla 1.** La escala de diagénesis en la trama del hueso compacto

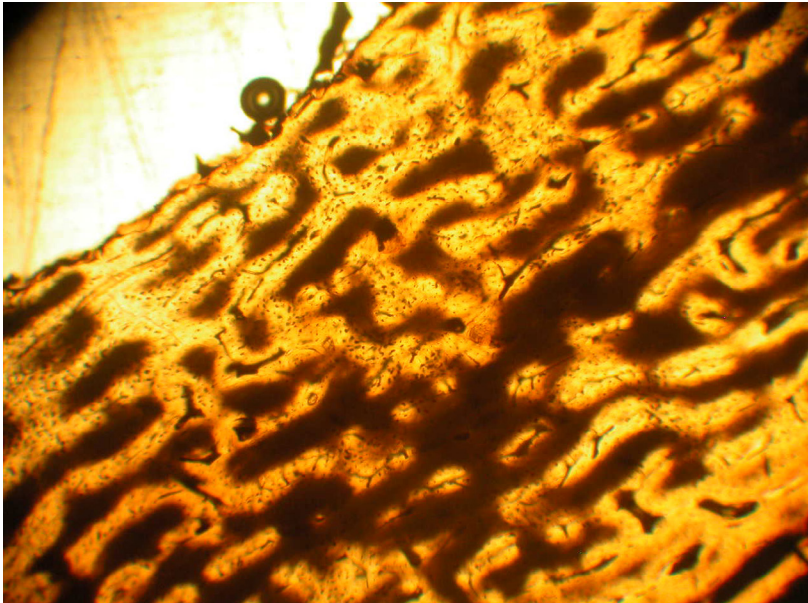
Grado	Grado del cambio diagenético de la trama orgánica
<b>Grado 0</b>	Prácticamente no hay diagénesis; se aprecian todas las estructuras y éstas se presentan intactas; la visualización de las estructuras es óptima y muy detallada lo cual permite calcular el OPD y el área promedio de los osteones.
<b>Grado 1</b>	Formación de cristales o invasión de hongos en áreas aisladas, usualmente ocupando espacios vacíos. El daño aún no afecta la morfología de ninguna estructura importante para la evaluación (como serían los canales de Havers, los canaliculos o las lagunas de resorción). La densidad de la población de osteones (OPD) y su área promedio aún pueden ser fácilmente contabilizado.
<b>Grado 2</b>	Las áreas alteradas diagenéticamente son más extensas. Todavía puede realizarse una cuenta general de osteones, ya que la visualización de osteones intactos y fragmentarios es posible en la mayoría (90%) de la sección. La densidad de la población de osteones (OPD) y el área promedio de los osteones pueden ser calculados con relativa confianza.
<b>Grado 3</b>	Los efectos de la diagénesis obliteran las microestructuras al punto que no se pueden apreciar bien los osteones fragmentarios y entonces no se puede calcular el OPD. Sin embargo, el número de osteones intactos puede ser todavía cuantificado correctamente y es posible realizar el cálculo del área promedio de los osteones. Se pueden todavía aplicar las fórmulas para estimación de la edad que requieren solo la cuenta de los osteones intactos.
<b>Grado 4</b>	La obliteración completa de las microestructuras óseas predomina en la sección. No es posible calcular el OPD y tampoco el área promedio de los osteones.

Fuente: Stretter (2005), retomado de Tiesler et al. (2006)

ósea, así mismo, los segmentos óseos pueden ser oscurecidos por el intervalo de tiempo expuesto al fuego y desde luego al aumentar las temperaturas. Más allá, los estudios permiten hacer las siguientes generalizaciones sobre el efecto progresivo del calor en el tejido óseo: a una exposición de 300° C, minúsculas partículas de carbono emprenden una sustitución en el tejido; durante este proceso son aglomeradas primeramente las cavidades vacías, seguidamente por los espacios intersticiales, los cuales son observados a modo de placas ennegrecidas. Cuando se alcanza una temperatura de 400° C, es notable la pérdida de organización orgánica, representada por el desvanecimiento de los osteocitos y líneas de cemento, al igual que el carbón es eliminado; también, en este nivel de exposición térmica son observados por primera vez cambios estratigráficos en la compacta ósea constituida por capas de coloración café. Elevando la temperatura a los 500° C, las placas carbonizadas se reducen a una especie de islotes (figura 7 y 8) hasta desaparecer completamente, induciendo a la destrucción del componente orgánico (figura 9); por lo general la coloración a esta temperatura manifiesta una tonalidad negra como consecuencia del proceso de carbonización y el corto tiempo de sometimiento al fuego, y en un largo período de tiempo (su-

perior a las tres horas), el carbón se desprende alcanzando una tonalidad café clara. Alrededor de los 700° C se evidencia la destrucción total del entramado orgánico, observándose una placa opaca no diferenciada, la cual es reconocible por los orificios particulares de los canales de Havers (figura 9); la coloración blanquecina y la ausencia de una estratigrafía es lo que caracteriza a los segmentos óseos durante esta fase.

De manera general, las afectaciones en las estructuras internas del hueso son graduales. Los canales de Havers comienzan a fisurarse, y estas fisuras se agrandan y propagan para formar agrietamientos que transitan por los centros de los osteones (figura 8). Las cruces de Maltheser no son observables bajo la luz polarizada del microscopio, y aumentan las dimensiones de las estructuras vacías, como son los canales de Havers, los canales de Volkmann y lagunillas resorción.



**Figura 7.** Hueso cortical de animal (plexiforme) con infiltraciones de carbón. Objeto 10x

Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY

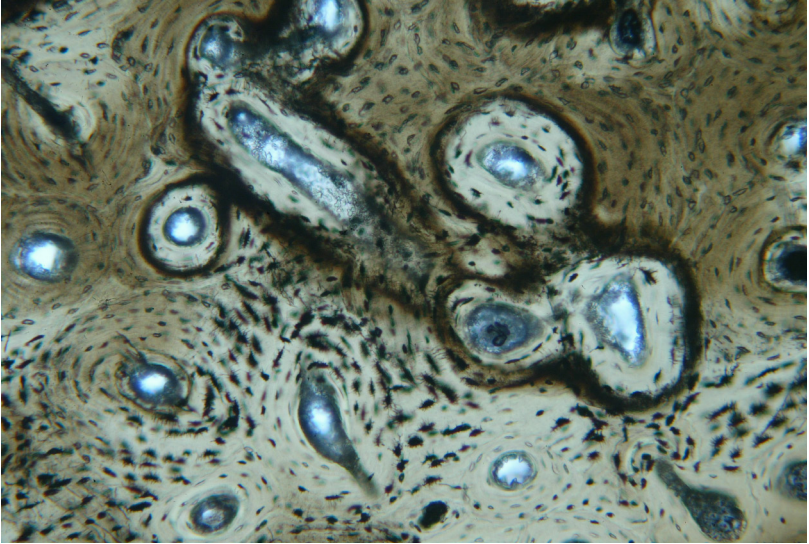
## CARACTERIZACIÓN DE LA TRAMA HISTOLÓGICA DEL HUESO HUMANO (VERSUS FAUNÍSTICO)

En este rubro exponemos sintéticamente algunos conceptos básicos de la histología ósea, refiriendo para más información a Recker (1983), Lagunas (2000), Murphy (2001), Geneser (2003), Hillier y Bell (2007). Por principio, el hueso está constituido por una matriz orgánica, minerales inorgánicos y agua. Estructuralmente, el hueso está compuesto por hueso cortical y trabecular (o esponjoso). El hueso cortical (conocido también como hueso compacto en los huesos largos), es el blanco de la gran mayoría de los estudios histomorfológicos. Siendo del tipo laminar, se reconocen dos componentes de hueso en el hombre: el hueso primario, compuesto por láminas intersticiales, y el hueso secundario, producto del proceso de remodelación, una secuencia concertada de reabsorción y aposición de hueso, resultando en osteones (figura 10).

Una aplicación de la histomorfología en el ámbito forense corresponde a la posibilidad de diferenciar histológicamente el tejido óseo propiamente humano del que no lo es. Reconocemos el tejido óseo humano (remodelado) por su característica laminar (y no plexiforme o entretrejida, figura 10). En el hombre, los osteones —o unidades óseas multicelulares (BMU – Basic Multicellular Units) forman la unidad estructural del hueso cortical, también denominado “sistema de Havers”. El mismo tamaño de los osteones delata la especie humana, midiendo aproximadamente 200 micras de diámetro. A diferencia de algunas especies bovinas que cuentan con ese tipo de organización estructural (pero a modo de bandas uniformes de osteones redondos), los osteones humanos son mucho más variables entre sí en forma y tamaño.

## HISTOPATOLOGÍA

Adentrándonos a los estudios histopatológicos, su importancia radica en la generación de un diagnóstico diferencial certero de aquellas en-



**Figura 8.** Hueso cortical expuesto a una temperatura entre 300-600° C, que cambios de tonalidad y en sus componentes orgánicos (Calakmul; objetivo 20x)

Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY

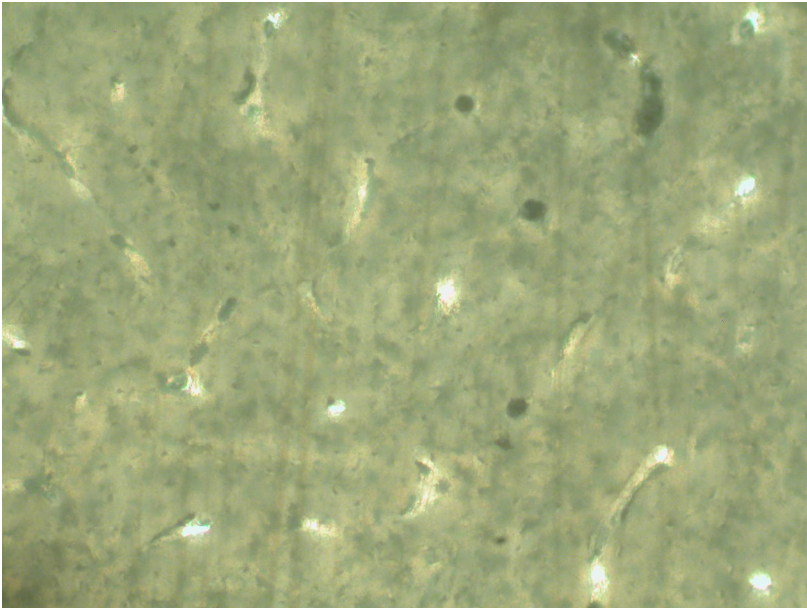
fermedades presentes en las poblaciones, con la finalidad de aproximarse a un panorama general del contexto ambiental, nutricional y socioeconómico dentro del cual los individuos se estaban desenvolviendo. Además de permitir el diagnóstico de anomalías óseas, esta herramienta analítica pretende identificar condiciones óseas relacionadas con la inactividad, por ejemplo, dado que no son diagnosticados en un estudio convencional.

La aplicación del análisis histomorfológico permite abarcar el estudio paleopatológico en tres diferentes modos. Primero, el estudio de casos específicos (casuística); segundo, el diagnóstico etiológico de los padecimientos y la epidemiología, constituyendo la morbilidad y mortalidad de las manifestaciones patológicas en una población y, por último, permite generar una historia clínica del paciente, la evolución y el avance de un trastorno patológico (López 2016; Maat 2004; Schultz 1993; Van der Merwe et al. 2010; Wapler y Schultz 1996). A nivel histológico, son dos los procesos básicos en el hueso que se pueden distinguir: las reacciones proliferativas que se caracterizan por la aposición de nuevo

tejido óseo, y la osteólisis, que constituye la reabsorción del material óseo. Partiendo de esta categorización, en la literatura paleopatológica se distinguen al menos cinco diferentes formas en la manifestación de una enfermedad.

### Reacciones proliferativas

La aposición de tejido óseo a consecuencia de un traumatismo suele ser del tipo entretejido (woven bone) seguido por hueso laminar (figura 11). A nivel macroscópico, este tipo de hueso se puede desarrollar en cualquier segmento óseo, sin requerir una base primaria para diseminarse, caracterizándose frecuentemente por un aspecto esclerotizado, es decir, relativamente denso, esto dependiendo del estado y la severidad de la lesión. Asimismo, el hueso entretejido puede ser registrado en esqueletos adultos, aunque a diferencia de aquel moldeado durante la infancia o adolescencia, la constitución del entramado óseo se vuelve más irregular en cuanto a su organización y espesor de las fibras. En las secciones histológicas de hueso no descalcificado las estructuras apreciables como son la componente



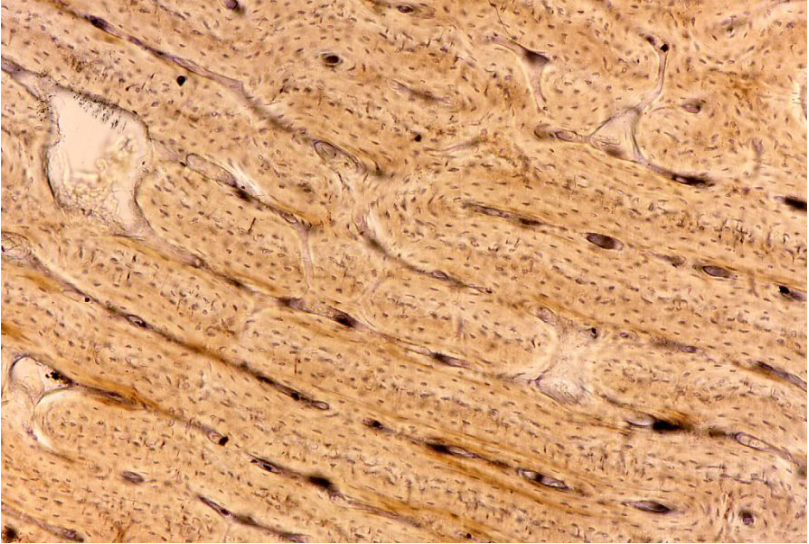
**Figura 9.** Hueso porcino cortical expuesto a una temperatura mayor a los 700° C, que muestra destrucción total de la trama orgánica; objetivo 20X

Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY

de colágeno se muestran representadas por volúmenes variables y arreglo irregular sin tener una disposición precisa.

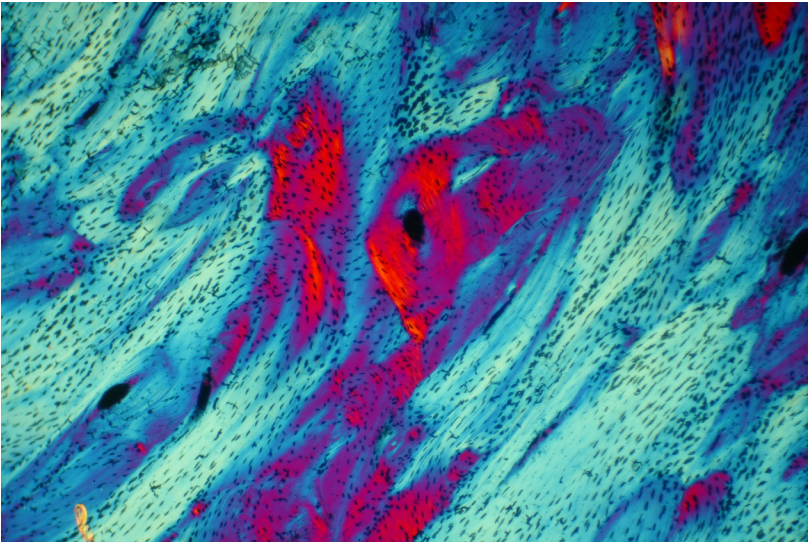
En un estudio osteopatológico convencional, la identificación de alteraciones mórdibas en la superficie ósea causadas por un proceso hemorrágico o por uno inflamatorio genera incertidumbre en la determinación de su etiología, por el hecho de que los cambios óseos pueden resultar ser similares. Por lo que, los estudios microscópicos, particularmente histológicos, dejan a un lado las dudas y revelan desde una sección delgada de la porción patológica el desarrollo, estado y etiología. En el esqueleto apendicular, comúnmente son registradas formaciones de nuevo tejido óseo sobre la superficie del periostio. Este tipo de lesiones son conocidas como periostitis, denotando un proceso infeccioso o inflamatorio, mientras que las lesiones que no implican una inflamación se denominan como periostosis, haciendo referencia principalmente las tumores, traumas y entesopatías (Aufderheide y Rodríguez Martín 1998; Ortner 2003).

Diversas lesiones periosteales de perfil inflamatorio se pueden desarrollar en el esqueleto, entre estas se encuentra la osteomielitis. Este padecimiento originado por la bacteria *Staphylococcus aureus* o *Streptococcus*, inicialmente causa cambios en la cavidad medular hasta envolver el hueso compacto (Ortner 2003:181). Las secciones histológicas expresan una continua reacción periosteal a modo de estratos óseos paralelos, como resultado de un proceso recidivo, donde se alteran nuevamente los tejidos esclerotizados (remodelados), generando apariencias espiculadas y osteolíticas. Por otra parte, enfermedades infecciosas como la treponematosis y la lepra, comparten características similares a nivel macroscópico con la osteomielitis. Sin embargo, la histología ósea desenmascara los rasgos propios de una treponematosis, como es la sífilis venérea en un estado terciario, se generan acumulaciones de hueso laminar con aspecto de almohadas en la superficie periosteal denominadas como “almohadillas” (Polsters), y estos cojines bien estructurados se muestran demarcados



**Figura 10.** Hueso cortical de bovino (plexiforme). Objetivo 10x

*Colección de patologías esqueléticas. Objetivo 10x, luz polarizada con lente auxiliar de compensación*



**Figura 11.** Torus palatinus, Cementerio Xoclán, Mérida, Yucatán

*Colección de patologías esqueléticas. Objetivo 10x, luz polarizada con lente auxiliar de compensación*

*Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY*

por una banda de hipervascularización conocida como “banda de delimitación” o Grenzreifen (Schultz 2001, 2003).

Paralelo a las afectaciones en el esqueleto apendicular, el cráneo puede sufrir diversas anomalías óseas, entre las que predominan las lesiones en las regiones meningeales, causadas por hematomas epidurales, meningitis o encefalitis, resultando ser del tipo inflamatorio o hemorrágico, o una combinación de ambos padecimientos. Típicamente estas lesiones se observan a manera de impresiones de los vasos sanguíneos en la superficie endocraneal.

Otros de los trastornos patológicos que atañen al cráneo, son la hiperostosis porótica definida como porosidad anormal en la superficie de la lámina externa del cráneo, o en los casos cuando los poros se localicen en los techos orbitarios se denomina criba orbitaria. Este padecimiento puede ser originado por diversas condiciones metabólicas e inflamatorias, entre las que destacan principalmente las anemias, el raquitismo, el escorbuto, así como procesos hemorrágicos-inflamatorios o hemorrágicos-traumáticos. A nivel convencional es un reto diagnosticar la etiología de estas lesiones poróticas, por lo que la implementación de la histología arrojaría un diagnóstico más agudo.

Desde la histomorfología, estas lesiones hiperostóticas revelan diferentes alteraciones en las microestructuras. En algunos casos se visualizan diversos niveles de expansión del tejido diploico en forma radial y paralela, conllevando el adelgazamiento de la lámina externa y en los casos avanzados inclusive su completa reabsorción, estos rasgos corresponden a un origen potencialmente anémico. Otras condiciones poróticas, no muestran alteraciones ni en la lámina interna ni diploë, sin embargo sobre la lámina externa se evidencian aposiciones regulares de nuevo tejido óseo a manera de capas horizontales y paralelas, infiriendo un origen hemorrágico-traumático causado por la osificación de un hematoma subperiosteal posiblemente por la deficiencia de la vitamina C. Lesiones poróticas causadas por raquitismo son diferenciadas histológicamente y de acuerdo con Schultz (2001) la lámina externa es constituida por placas esca mosas irregulares y la lámina interna con una apariencia astillada, mientras que el diploë posee una desorganización sin llegar a asemejarse a los casos anémicos.

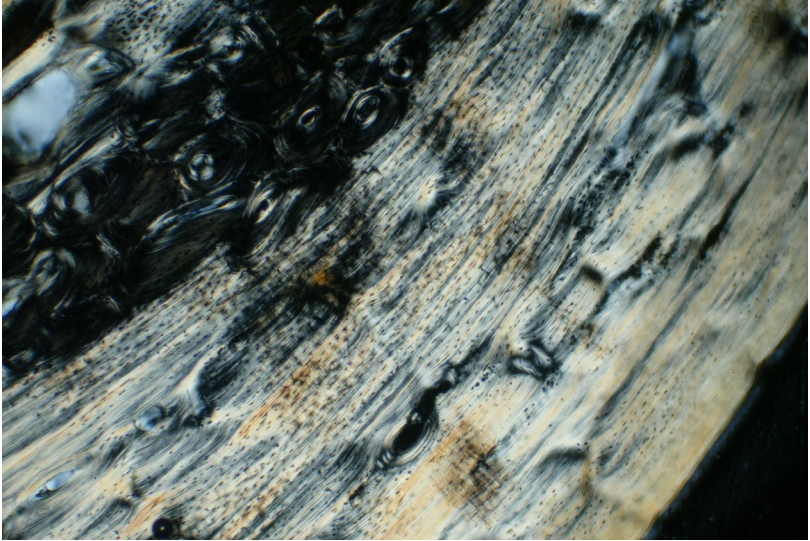
## Reacciones por reabsorción

Opuestamente a la proliferación del tejido óseo nuevo y a la atrofia a falta de actividad (figura 12), están aquellos procesos osteolíticos o aquellos trastornos enfermizos donde existe un balance negativo del tejido óseo, predominando la actividad osteoclástica (reabsorción). La osteoporosis es un padecimiento metabólico-degenerativo identificado por el desequilibrio de la pérdida de tejido óseo. Este proceso osteodegenerativo es asociado a los cambios hormonales con la edad y mayormente frecuente en las mujeres postmenopáusicas. La osteoporosis por lo tanto representa una reducción de la masa ósea dado la falta de balance entre los procesos de modelación y reabsorción. El diagnóstico de esta enfermedad a nivel macroscópico se puede concretar con apoyo de placas radiográficas, y desde la histopatología se revela enflaquecimiento en la compacta y trabécula. El primer fenómeno puede constatarse en la medición de la proporción entre el área cortical y área total de la sección, cuyo resultado porcentual proporciona una indicación objetiva del grado de desarrollo osteoporótico. En los estados osteoporóticos severos, se manifiestan los efectos de un proceso de trabecularización, en el cual el hueso esponjoso irrumpe la zona inicialmente ocupada por el tejido denso. Además, presenta la pérdida de conexión entre las láminas, adquiriendo un aspecto espiculado y grácil.

## HISTOMORFOMETRÍA BIOMECÁNICA Y DETERMINACIÓN DE LA EDAD A LA MUERTE

La histomorfometría es una rama de la histología que se encarga de medir y contar rasgos morfológicos en secciones delgadas. En los últimos años, la histomorfometría en hueso no descalcificado se ha ido estableciendo como línea de trabajo que se adscribe mayormente a la biología del esqueleto y el estudio de la modelación y remodelación dinámica del tejido óseo. Es utilizada para el estudio de poblaciones pasadas, a través de la cuantificación de osteones completos o fragmentados (figura 13), ofreciendo la posibilidad de realizar ese análisis a una escala microscópica. Este es el único método que permite investigar de una forma directa la historia metabólica del tejido óseo, reconstruyéndola a través de los procesos acumulativos de modelación y remodelación. Lo anterior conduce a nuevos resultados sólidos y





**Figura 12.** Falta de remodelación en fémur adulto inmovilizado, Cementerio Xoclán, Mérida, Yucatán

*Colección de patologías esqueléticas. Objetivo 10x, luz polarizada con lente auxiliar de compensación*

*Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY*

objetivos que promueven el entendimiento del sistema esquelético y de los elementos que lo condicionan en poblaciones humanas históricas y pasadas.

### Remodelación ósea y biomecánica

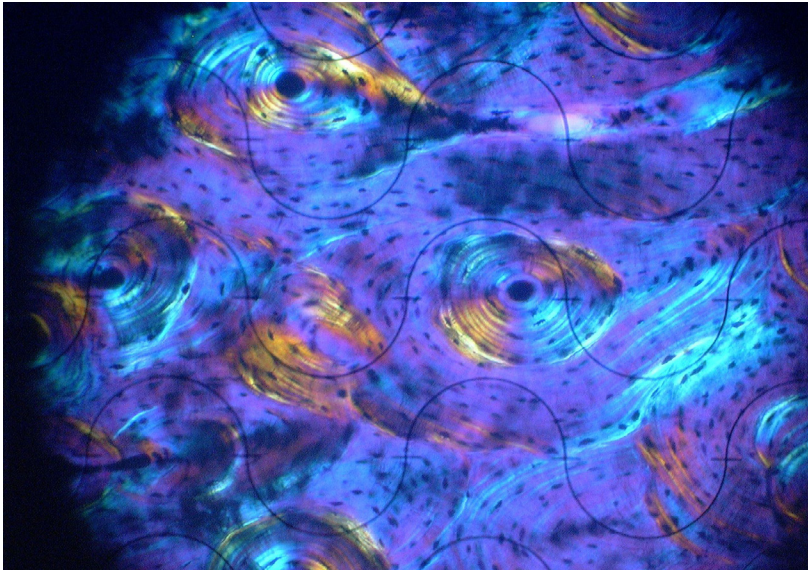
Se interesan por el análisis de cómo las estructuras óseas pasadas son modificadas por la carga mecánica, utilizando como técnicas auxiliares de medición la cuantificación de estructuras histológicas y secciones óseas. Para calcular la tasa de formación ósea se requiere de información acerca de la densidad de osteones por área (OPD), el área promedio de los osteones (On.Ar mm<sup>2</sup>) y el diámetro promedio de los osteones (On.Dm mm o Dh) (figura 14).

### Determinación de edad

La histomorfología ha encontrado sus principales aplicaciones en la determinación histométrica de la edad a la muerte. La mayoría de estos procedimientos operan a través del conteo de la densidad de población de osteones o de la eva-

luación de los procesos metabólicos relacionados con edades avanzadas, como son la osteopenia aguda o degeneración ósea senil.

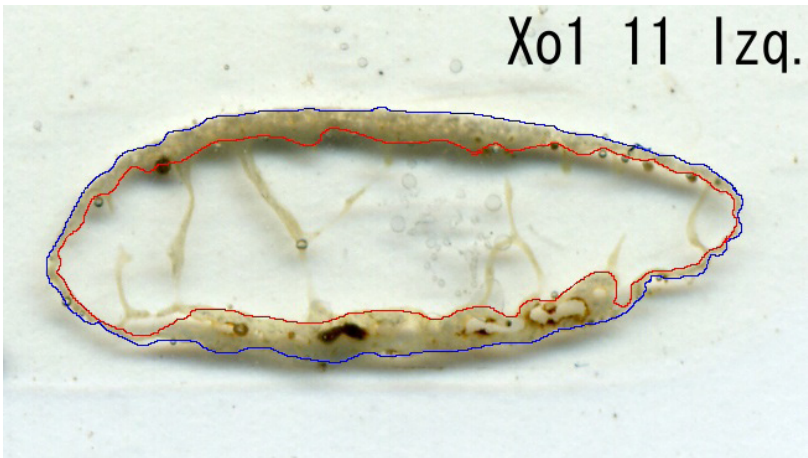
Podemos estimar la edad cronológica y la morfológica mediante la cuantificación de la densidad de población osteónica por área (OPD), basándose en el hecho de que la cantidad de osteones aumenta conforme avanza la edad adulta, hasta llegar a un máximo de densidad. Los estudios miden la cantidad de hueso laminar, el área y la densidad de los osteones. Para estimar la edad deben tomarse en especial consideración los huesos largos, las costillas y la clavícula. En los huesos largos se comenzó utilizando la parte compacta del fémur, sin embargo, la desventaja es que se requiere de la sección completa del hueso o un área muy específica de la pieza, la cual no siempre está disponible, debido a lo cual también se comenzaron a calcular fórmulas de estimación en la mitad anterior del fémur, tibia, húmero y cúbito. Alternativamente, las costillas, son una opción cuando los huesos largos no están presentes, además el proceso de muestreo es menos invasivo y no es necesario destruir los huesos largos principales, lo cual representa una



**Figura 13.** Osteon secundario

Sección no descalcificada, con osteones intactos y fragmentos de osteon, mostrando la cuadrícula de Merck para su contabilización. Objetivo 10x, luz polarizada con placa lambda

Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY



**Figura 14.** Escaneo digital y delimitación de línea periosteal y endosteal en sección de costilla empotrada y montada, para su estimación de áreas

Fuente: Laboratorio de Bioarqueología e Histología, UADY

**Tabla 2.** Algoritmos desarrollados a partir de los datos del grupo principal de la población yucateca

<b>Algoritmo 1</b>	Edad = $119.05 - 1,179.47 \cdot OS - 0.84 \cdot CA$
<b>Algoritmo 2</b>	Edad = $- 3.07 + 1.98 \cdot OPD - 294.76 \cdot OS + 0.04 \cdot CA$
<b>Algoritmo 3</b>	Edad = $- 1.12 + 1.96 \cdot OPD - 291.88 \cdot OS$
<b>Algoritmo 4</b>	Edad = $17.46 + 2.11 \cdot OPD + 0.02 \cdot CA$
<b>Algoritmo 5</b>	Edad = $87.28 - 1.20 \cdot CA$
<b>Algoritmo 6</b>	Edad = $105.78 - 1,629.05 \cdot OS$
<b>Algoritmo 7</b>	Edad = $10.258784 \cdot \exp(0.048198 \cdot OPD)$

Fuente: Valencia et al. (2010, 2012)

ventaja; además son menos afectadas que los huesos largos de las piernas por factores externos o biomecánicos, por lo que reflejan de manera más directa la influencia de la edad en los huesos. Existe también una fórmula desarrollada por Stout y Paine (1992) para la estimación de la edad de la clavícula. El Método de Kerley (1965) fue el primer método histológico que se utilizó para la estimación de la edad a la muerte, basándose en la acumulación de osteones en relación con la edad.

Para poblaciones mexicanas se ha desarrollado recientemente algoritmos para costillas seccionadas a partir de series de población yucateca, tomando en cuenta la densidad de población de osteones (OPD, concentración de osteones fragmentados e intactos por milímetro cuadrado), el área cortical (AC), y el tamaño del osteon (TO). De ahí se calcularon siete combinaciones de algoritmos (Valencia et al. 2010, 2012; tabla 2). Las ecuaciones basadas en el OPD se desvían de la edad conocida en un promedio de 8.7 años y mejoran las desviaciones promedio de las regresiones en población no mexicana (Cho et al. 2006; Stout y Paine 1992).

## PERSPECTIVAS DE LA HISTOMORFOLOGÍA EN EL MEDIO MEXICANO

Las aplicaciones de la histomorfología en hueso no descalcificado, ensayadas líneas arriba han sido dirigidas tanto al estudio de las poblaciones actuales, investigaciones experimentales y las poblaciones del pasado, sobre las que ahora

sabemos más, gracias a la paleodemografía y la paleopatología, indagadas a partir de series esqueléticas humanas en su contexto arqueológico. Más allá, la mayoría de las aplicaciones de la histomorfología son también de relevancia directa para el quehacer de la investigación criminalística. Ante todo, son la distinción de restos humanos de restos de faunas, la estimación histológica de la edad a la muerte para fines de identificación personal y la exhibición térmica, las que son de relevancia directa y que a nivel mundial se realizan de modo rutinario en la investigación forense, brindando una opción técnica confiable y cuantificable. Sin duda alguna, también para la ciencia forense en México, los estudios histomorfológicos de hueso no descalcificado prometen un abanico de posibilidades analíticas que son de interés inmediato, mediano y de largo alcance.

## AGRADECIMIENTOS

La investigación que sustenta la línea de trabajo tematizado en este capítulo fue realizada en el Laboratorio de Bioarqueología e Histología de la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida; recibió financiamiento entre 2005 y 2017 por el Consejo Mexicano Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT, Proyectos 37743-H, 49982 y 152105).

## REFERENCIAS CITADAS

- Aufderheide AC, Rodríguez-Martin C. 1998. The cambridge encyclopedia of human paleopathology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bass W. 1984. Is it possible to consume a body completely in a fire? En Rathbun T, Buikstra J, editores. Human identification. Case studies in forensic anthropology. Springfield, Charles C. Thomas. p 159–167.
- Brandtmiller B, Buikstra J. 1984. Effects of burning on human bone microstructure: a preliminary study. *J Forensic Sci* 29:535–540.
- Brugal JP (Editor). 2017. Taphonomies. Paris: Éditions des archives contemporaines.
- Canto A. 2003. Estudio de los minerales en sustratos y huesos de diferentes entierros prehispánicos mayas. Tesis de licenciatura inédita. Mérida: Instituto Tecnológico de Mérida.
- Cho H, Stout S, Bishop T. 2006. Cortical bone remodeling rates in a sample of African American and European American descent groups from the American Midwest: comparisons of age and sex in ribs. *Am J Phys Anthropol* 130:214–226.
- Duday H. 2009. The archaeology of the dead. Lectures in archaeoethanatology. Oxford: Oxbow.
- Efrenov I. 1940. Taphonomy: a new branch of paleontology. *PanAm Geol* 74(2):81–93.
- Geneser, Finn. 1990. Histología. Segunda edición. Mexico: Editorial Médica Panamericana.
- Gifford D. 1981. Taphonomy and paleocology: a critical review of archaeology's sister disciplines. *Adv Archaeol Method Theory* 4:365–438.
- Graf W. 1949. Preserved histological structures in Egyptian and ancient Swedish skeletons. *Acta Anat* 8:236.
- Grupe G, Garland A. (Eds). 1993. *Histology of ancient human bone: methods and diagnosis*. Stuttgart: Springer.
- Haglund W, Sorg M. 1997. *Forensic taphonomy. The postmortem fate of human remains*. Florida: CRC Boca Raton.
- Haglund W, Sorg M, (Eds). 2001. *Advances in forensic taphonomy. Method, theory and archaeological perspective*. Florida: CRC Boca Raton.
- Herrera, A. 2014. *Tafonomía y diagénesis en los sustratos de suelo peninsular yucateco y su afectación en el hueso arqueológico*. Tesis de licenciatura inédita. México, Mérida: Facultad de Ciencias Antropológicas, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Hillier M, Bell L. 2007. Differentiating human bone from animal bone: a review of histological methods. *J Forensic Sci* 52(2):249–263.
- Kerley E. 1965. The microscopic determination of age in human bone. *Am J Phys Anthropol* 23:149–164.
- Lagunas Z. 2000. *Manual de osteología antropológica, vol. I. Principios de anatomía ósea y dental*. México, D.F: Colección Científica, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- López R. 2016. *La hiperostosis porótica como condición cultural y social. Una aproximación a las condiciones de vida y modo de vida maya*. Tesis de licenciatura inédita. México, Mérida: Facultad de Ciencias Antropológicas, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Maat G. 2004. Scurvy in adults and youngsters: the Dutch experience. A review of the history and pathology of a disregarded disease. *Int J. Osteoarchaeol* 14:77–81.
- Mansilla J, Schultz M. 1999. Infant diseases in early Colonial times in Mexico: the Spanish population from San Jerónimo, Mexico City. *Am J Phys Anthropol Suppl* 28:46.
- Medina C. 2005. *Análisis de restos óseos arqueológicos expuestos al fuego en Calakmul, Campeche*. Monografía de diplomado de especialización en Antropología Esquelética inédita. Mérida: Facultad de Ciencias Antropológicas, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Medina C, Folan W. 2005. *Análisis de restos óseos expuestos al fuego en Calakmul, Campeche*. *Los Investigadores de la Cultura Maya* 13(1):99–106.

- Medina C, Quintana P, Oliva I, Tiesler V. 2005. Análisis estructural de restos óseos expuestos al calor. En Mendoza D, Arenas J, editores. La ciencia de materiales y su impacto en la arqueología, Vol. 2. México: Academia Mexicana de Ciencia de Materiales A.C., Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Instituto Nacional de Antropología e Historia. p 29–41.
- Murphy D. 2001. Fundamentals of light microscopy and electrical imaging. New York: Wiley-Liss.
- Ortner D. 2003. Identification of pathological conditions in human skeletal remains. USA: Academic Press.
- Pfeiffer S. 2000. Palaeohistology: health and disease. En Katzenberg MA, Saunders SR, editores. Biological anthropology of the human skeleton. New York: Wiley-Liss. p 287–302.
- Pijoan CM, Schultz M, Mansilla J. 2004. Estudio histológico de las alteraciones térmicas en el material óseo procedente de Tlatelcomila, Tetelpan, D. F. En Pijoan CM, Lizarraga X, editores. Perspectiva tafonómica. Evidencias de alteraciones en restos óseos del México prehispánico. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia. p 109–127.
- Paine R. 2007. How to equip a basic histological lab for the anthropological assessment of human bone and teeth. *J Anthropol Sci* 85:213–219.
- Recker R. 1983. Bone histomorphometry: techniques and interpretation. Florida: CRC, Boca Raton.
- Romano A, Villalobos F, Balcorta A. 1974. Investigaciones en paleohistología antropológica. *Acta Medica* 10:173–183.
- Ruff CB. 2000. Biomechanical analyses of archaeological human skeletons. En M.A. Katzenberg MA, Saunders SR, editores. Biological anthropology of the human skeleton. New York: Wiley-Liss. p 71–102.
- Schmidt C, Symmes S (Editores). 2008. The analysis of burnt human remains. London: Elsevier.
- Schultz, M. 1993. Initial stages of systemic bone disease. En Grupe G, Garland A, editores. Histology of ancient human bone: methods and diagnosis. Berlin: Springer. p 185–204.
- Schultz, M. 2001. Paleohistopathology of bone: a new approach to the study of ancient diseases. *Yearb Phys Anthropol* 44:106–147.
- Schultz, M. 2003. Light microscopic analysis in skeletal paleopathology. En Ortner, D, editor. Identification of pathological conditions in human skeletal remains. Amsterdam: Academic Press. p 73–108.
- Schultz M, Schmidt-Schultz TH, Mansilla J, Pijoan C. 1996. Diseases and mortality in infancy of the precolumbian population from La Ventilla/Teotihuacan (México). *Am J Phys Anthropol Suppl* 22:209.
- Stout S, Paine R. 1992. Brief communication: histological age estimation using rib and clavicle. *Am J Phys Anthropol* 98:111–115.
- Stout S, Simmons D. 1979. Use of histology in ancient bone research. *Yearb Phys Anthropol* 22:228–249.
- Streeter M. 2005. Histomorphometric Characteristics of the Subadult Rib Cortex: Normal Patterns of Dynamic Bone Remodeling and Remodeling During Growth and Development. PhD. Dissertation, University of Missouri, Columbia.
- Suzuki S, Tiesler V. 2016. Estrategias alternativas para la valoración histomorfológica de la edad a la muerte en restos esqueléticos deteriorados. Aplicaciones en la bioarqueología del área maya. *Revista Argentina de Antropología Biológica* 18(2):1–12.
- Tiesler V (Editora). 2012. Aplicaciones histomorfológicas en el estudio de restos humanos. Mérida: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- Tiesler V. 2017. La décomposition des corps immergés dans l'eau. L'apport de l'archéothanatologie à la recherche archéologique subaquatique. En Brugal JP (Editor). *Taphonomies*. Paris: Éditions des archives contemporaines. p 254–259.
- Tiesler V. 2018. The fiery dead: igniting human bodies in the Maya northern lowlands. En Tiesler V, Scherer A, editores. Smoke, flames, and the human body in Mesoamerican ritual practice. Washington, D.C.: Dumbarton Oaks Research Library and Collection. p 205–250.

- Tiesler V, Cucina A, Streeter M. 2006. Manual de histomorfología en hueso no descalcificado. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Valencia M, Cucina A, Tiesler V. 2010. New formulas to estimate age at death in Maya populations using histomorphological changes in the fourth human rib. *J Forensic Sci* 55:473–477.
- Valencia M, Cucina A, Tiesler V. 2012. Nuevas fórmulas para la estimación de la edad al momento de la muerte en poblaciones mayas usando los cambios histomorfológicos en la cuarta costilla humana. En Tiesler V (Editora). Aplicaciones histomorfológicas en el estudio de restos humanos. Mérida: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. p 215–232.
- Van der Merwe A, Steyn M, Maat G. 2010. Ossified hematomas and infectious bone change on anterior tibia: histomorphological features as an aid for accurate diagnosis. *Int J Osteoarchaeol* 20:227–239.
- Wapler U, Schultz M. 1996. Un method de recherche histologique appliqué au materiel osseux archéologique: L'exemple des cribra orbitalia. *Bull Mém Soc Anthropol Paris* 8(3–4):421–431.

# 19

## Fotografía Científica Aplicada a la Antropología Forense: Hacia un Protocolo Basado en Evidencia

Quinto-Sánchez Mirsha<sup>1</sup>

Palabras clave: fotografía científica, registro forense, reproducibilidad, repetibilidad.

### RESUMEN

La fotografía científica se ocupa de la producción de imágenes con el propósito de grabación, medición e interpretación en diversos campos científicos, tecnológicos o de la medicina, y su posterior comunicación de resultados en forma de materiales audiovisuales o reportes. En este capítulo se presenta un protocolo para la aplicación de la fotografía al campo de las ciencias antropológicas forenses. Para ello se revisan seis puntos de equipos y parámetros fotográficos básicos que con su estandarización mediante modelos basados en evidencia se hipotetiza repercutirán en una mejora de la repetibilidad y reproducibilidad de las tomas fotográficas científicas en el campo antropológico forense. La revisión sistemática de las publicaciones recientes ha permitido recomendar el uso de algún dispositivo y/o estandarizar la toma de fotografías o la medición del color digitalmente. Se propone así un protocolo básico inicial para la praxis antropológica forense.

### ABSTRACT

Scientific photography deals with the production of images for the purpose of recording, measuring and interpreting of various scientific, technological or medical fields, and their subsequent communication of results in the form of audiovisual materials or reports. This chapter present an initial protocol for the application of photography to the field of forensic anthropological sciences. To do this, six points of equipment and basic photographic parameters are revised, and which with their standardization by means of evidence-based models are hypothesized to have an impact on the improvement of the repeatability and reproducibility of scientific photographic images in the forensic

---

1 Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF), Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

anthropological field. The systematic review of recent publications has made possible to recommend the use of some device, standardize the procedure of taking photographs or the measurement of color digitally. With this review, an initial basic protocol for forensic anthropological praxis is proposed.

## INTRODUCCIÓN

La fotografía es una herramienta ampliamente utilizada en procesos de cualquier índole en ciencias, desde el registro de un proceso en laboratorio hasta el análisis de estructuras morfológicas, tendiendo entonces dos componentes aplicados: el registro y el análisis.

La fotografía en la ciencia forense es fundamental, de total importancia y con una potencialidad enorme para la investigación, por ende, el presente capítulo se circunscribe al programa de investigación de la fotografía científica forense. Campos tan diversos como la identificación facial, análisis de videograbaciones en diversas escenas, fotografía aérea y subacuática, documentación y evidencia forense hasta la fotografía de alta velocidad dependen totalmente de una correcta aplicación de las técnicas de fotografía y de la elección de equipo, muchas veces adoleciendo de un modelo basado en evidencia. En este sentido la yuxtaposición entre las ciencias antropológicas forenses y la fotografía científica dan cuerpo al presente manuscrito explorando conceptos, protocolos o guías.

El objetivo del capítulo es delimitar un protocolo mínimo básico para la aplicación de fotografía basada en evidencia, es decir, científica. Dotar de las características necesarias para tal praxis y generar un consenso en la comunidad científica para el uso de la fotografía en el contexto forense, y más específicamente en antropología. Al delimitar este trabajo dentro del marco basado en evidencia, la hipótesis de trabajo es que la protocolización de la fotografía en la antropología forense permitirá tasas de reproducibilidad y repetibilidad mayores con adecuaciones del presente trabajo a intereses particulares en otros campos forenses. En este manuscrito, se revisarán seis rubros del protocolo: 1) la cámara fotográfica, 2) los objetivos, 3) el valor  $f$  y la profundidad de campo, 4) las escalas o testigos métricos, 5) el color y 6) la estimación del error.

## LA FOTOGRAFÍA CIENTÍFICA

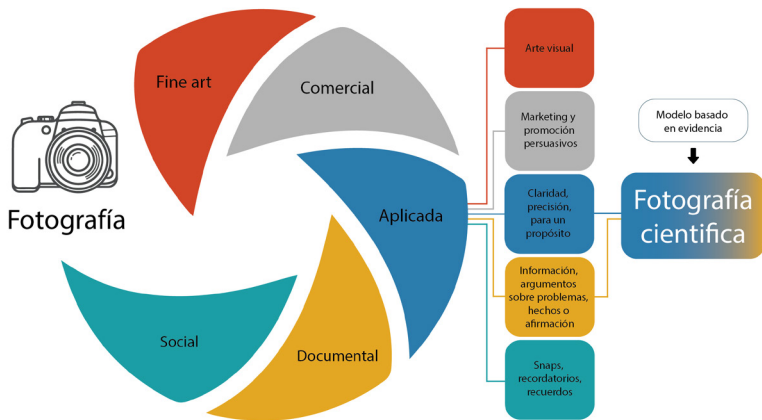
El nacimiento de la fotografía en el mundo se realizó por el célebre químico Louis-Jacques-Mandé Daguerre el 7 de enero de 1839 ante la *Acadé-*

*mie des sciences en Paris*, lo que constituyó un descubrimiento que cambiaría el mundo. Desde ese punto a la fecha la producción de fotografías es casi incalculable, pero se puede pensar en el siguiente dato para entender la implicación de la fotografía en el mundo: en 2017 se generaron 1.2 trillones de fotografías a nivel mundial, la mayoría tomadas por medio de *smartphones* (85%), solo un 10.3% mediante cámaras digitales y un 4.7% mediante tabletas digitales. Aunque no hay estimas de la tasa de producción de fotografías forenses, se puede pensar que si en México, durante el 2018, hubo una incidencia delictiva del fuero común de 1,710,834 casos, por lo menos tres cuartas partes de ese valor, implicaron el uso de fotografía en algún procesamiento de escena o registro de lesiones. Esto da cuenta de la importancia de la fotografía en la procuración de justicia.

La fotografía es definida como el procedimiento o técnica que permite obtener imágenes fijas de la realidad mediante la acción de la luz sobre una superficie sensible (película) o sobre un sensor digital. La palabra fotografía es una derivación de dos palabras griegas, *phos*, que significa “luz” y *graphos*, que significa “escribir” (Redsicker et al., 2001). Para Langford y Bilissi, (2007) existen cinco áreas principales de la fotografía: 1) aplicada, 2) social, 3) documental, 4) comercial y 5) de arte. La fotografía científica entonces, sería una subrama de la fotografía aplicada (con implicaciones documentales) que se ocupa de la producción de imágenes con el propósito de grabación, medición e interpretación en diversos campos científicos, tecnológicos o de la medicina, y su posterior comunicación de resultados en forma de materiales audiovisuales o reportes (Ray, 1999). En realidad, la literatura no le reconoce un lugar específico, debido a que su aplicación yace entre la yuxtaposición entre la fotografía aplicada y la documental (figura 1). Además de esta característica no se debe olvidar que debe estar sustentada en modelos basados en evidencia (e.g. Sackett et al., 1996; Sackett, 1997; Heneghan et al., 2017).

En el contexto forense, Redsicker et al., (2001) reflexiona que el principal tema de interés en el campo de la fotografía forense es la precisión, en dos aspectos: 1) la creación de imágenes y 2) la posterior defensa de su precisión ante un





**Figura 1.** Áreas principales de la fotografía según Langford y Bilissi 2007. Se puede apreciar la derivación de la fotografía científica entre la yuxtaposición de la fotografía aplicada y documental, con la adición de los modelos basados en evidencia.

Fuente: Elaboración propia

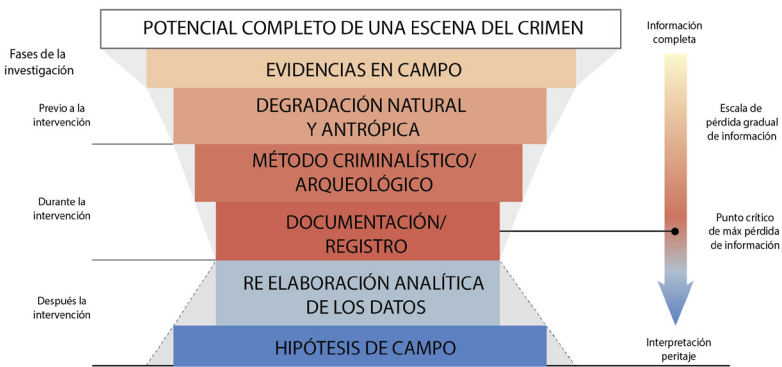
jurado. También, es importante agregar que estos aspectos pueden sumar la obtención de datos en diversas líneas, en el caso de la antropología, por ejemplo, mediciones de elementos óseos, dentales, etc. para la construcción del perfil biológico de algún individuo no identificado.

Uno de los puntos más importantes y fundamentales de la fotografía es el proceso de contención de pérdida de información en un análisis de un sitio del crimen, según el modelo Barone, (2013). Concretamente, la fotografía coadyuva junto con otras técnicas de registro y documentación a que el proceso de pérdida de información sea la mínima posible, todo ello bajo una metodología estricta (figura 2). Dentro del modelo Barone, (2013, figura 2), debemos aclarar que la pérdida de información intrínseca e inevitable, aún en un lugar cerrado la degradación natural es un elemento determinante, constante e inalienable; ello es una generalidad de los procesos físicos, químicos y biológicos. Empero, la ciencia hace uso de metodologías estrictas para poder inferir dicha información perdida. Entonces, desde la primera respuesta a una escena del crimen, la responsabilidad de la pérdida de información pasa a manos de la policía y peritos. Luego entonces, el uso de metodologías basadas en evidencia, reproducibles y repetibles representan la mejor apuesta para la construcción de

una documentación o registro de la escena y un exitoso análisis posterior.

Asimismo, el modelo de pérdida de información en una escena del crimen es equiparable por analogía otros campos de análisis forenses. Por ejemplo, en el análisis de enfermedades esqueléticas, la correcta documentación de las lesiones determinará el correcto diagnóstico diferencial y la posterior argumentación en un juzgado. De igual manera, la correcta toma fotográfica facial permite que puedan realizarse comparaciones faciales de una manera factible (ver capítulo de identificación facial forense). Con este ejemplo, es importante recalcar, que las metodologías de imagen científica son también un recurso para la generación de datos en análisis forenses, es decir, en la etapa de registro (sensu Barone 2013) debe contemplarse que realizando metodologías científicas, se está asegurando el posterior uso de datos obtenidos de las fotografías: lo que sin duda extiende las implicaciones del registro fotográfico forense. En palabras de Ray, (1999)

*“las fotografías científicas son un medio para extender las imágenes más allá de los límites de la percepción visual humana, produciendo registros permanentes para el análisis y la evaluación del sujeto y los procesos involucrados”.*



**Figura 2.** Modelo de Barone, (2013) sobre el proceso de pérdida de información en el análisis de un sitio en un contexto forense. La fotografía científica coadyuva a reducir la pérdida de información mediante la fijación de eventos de importancia y/o la posible reconstrucción posterior, incluso generando datos como medidas de objetos o la estimación del color.

Fuente: modificado de Barone, (2013)

También es necesaria la objetividad absoluta y la ausencia de ambigüedad, como en las imágenes para el trabajo de investigación clínica, forense o públicas. Muchas imágenes científicas pueden tener poco significado excepto para los especialistas y carecen de atractivo visual general, excepto tal vez en el caso de los ejemplos más morbosos, que por regla general se debería evitar, apegándose a una ética fotográfica. En este sentido es importante aclarar que la fotografía científica, es mucho más que la ilustración científica a través de fotografía.

En la fotografía aplicada se utiliza equipos especializados para grabar fenómenos que pueden emanar fuera del espectro visible, o que pueden moverse demasiado lento o demasiado rápido para que los cambios o eventos sean fácilmente perceptibles o que simplemente sean demasiado pequeño o demasiado lejos para ser examinado visualmente en detalle (Ray, 1999). La visión humana, o más bien la percepción visual, con una iluminación adecuada da una imagen virtual tridimensional (3D) a todo color capaz de detectar el movimiento (Pirenne, 1967).

Ray, (1999) realiza una metáfora del ojo y cerebro humano como un “instrumento científico” con limitantes importantes respecto de la percepción visual, fisicoquímicas y biológicas. Por ejemplo, no es sensible al rango de los UV, IR o rayos X. Diversos fenómenos de per-

cepción-interpretación y fenómenos espaciales, limitan al ojo-cerebro humanos, pero también a los sensores y dispositivos de captura. En este sentido la grabación espectral, técnicas ópticas, macrofotografía y fotomicroscopía, estudio del movimiento y fotogrametría cobran importancia para el registro y/o análisis de las hipótesis de casos forenses que se requieran contrastar.

Las aplicaciones forenses del uso de la fotografía son numerosas, por ejemplo, el uso en el análisis de patrones de manchas de sangre (Albanese y Montes, 2011; Lee et al., 2013), búsquedas de tatuajes en restos momificados por medio de fotografía infrarroja (IR) y ultravioleta (UV) con motivos de identificación (Oliver y Leone, 2012), su uso en la interpretación del patrón de lesión en la piel (Oliver, 2017), para asignación del sexo por medio de fotografías del hueso hioides (Kim et al., 2006), para construcción de modelos fotogramétricos faciales 3D (Quinto-Sánchez et al., 2015; Muñoz-Muñoz et al., 2016; Düppe et al., 2018) el análisis de estructuras para la determinación sexual por morfometría geométrica 2D (Gómez-Valdés et al., 2012). También, la fotografía se puede utilizar en situaciones que son biológicamente peligrosas, proporcionando registros permanentes que pueden proporcionar información dimensional precisa sobre el sujeto sin la necesidad de contacto físico, como lo puede ser algún cuerpo en

avanzado estado de descomposición o la exposición a materiales altamente radioactivos.

Con esta introducción, parece demostrar la importancia y potencialidad de la fotografía científica forense, consolidando un área particular de conocimiento de la fotografía aplicada que sin duda es un programa de investigación científica prometedor.

## PROTOCOLO DE FOTOGRAFÍA CIENTÍFICA APLICADA A LA ANTROPOLOGÍA FORENSE

Es importante, antes de definir un protocolo basado en evidencia, que existen algunas reglas básicas para obtener fotografías apropiadas de una escena en un contexto forense (no solo las escenas del crimen), entre ellas están según Gouse et al., (2018):

1. seguridad de la escena,
2. evaluación de las condiciones,
3. toma fotográfica,
4. fotografía de víctimas,
5. fotografía de evidencia,
6. colocar marcas de evidencia y
7. usar técnicas especiales de imagen o iluminación.

El mismo autor establece un protocolo mínimo necesario para considerar en la fotografía forense (Gouse et al., 2018), aunque el trabajo está muy enfocado en escenas del crimen es posible adecuarlo a la praxis antropológica forense. En ese sentido, la adecuación de protocolos de fotografía forenses generales al caso antropológico es de suma importancia, por ejemplo, considerar otros escenarios específicos, más allá de las huellas dactilares y lesiones por mordeduras, que circunscriben apenas una ínfima parte de la aplicación de la fotografía científica a la antropología forense. Algunos ejemplos podrían ser: a) toma de fotografías faciales en individuos vivos o cadáveres, b) fotografías osteológicas, c) fotografías *in situ* de restos humanos de arqueología y tafonomía forenses, d) macro y microfotografías de traumatismos, enfermedades esqueléticas, que es extensible a individuos vivos, e) fotografía antropométrica, f) documentación de procedimientos de campo y laboratorio, g) características individualizantes, entre muchas más opciones.

Es importante decir que la fotografía forense tiene el objetivo principal de la representación verdadera y precisa de un sujeto y/u

objeto que este involucrado en un contexto antropológico-legal. Básicamente, como lo define el protocolo odontológico forense, la importancia de la fotografía científica se enfoca en tres puntos: 1) ayuda en los procedimientos de investigación, 2) mantiene los datos de archivo, y 3) proporciona pruebas que pueden complementar los problemas legales médicos en los tribunales (Gouse et al., 2018). Luego entonces, para el presente protocolo se define como: 1) fijación de procedimientos o evidencia, 2) procedimientos de almacenaje, 3) procesamiento y/o análisis, 4) dictaminación o integración a carpeta de caso, y 5) la integración de prueba.

Dicho esto, se revisarán los elementos del flujo de trabajo fotográfico científico que tienen importancia para el caso de la antropología forense, de igual manera sirve para un mínimo necesario para garantizar la repetibilidad y reproducibilidad de una toma fotográfica. Se enfatiza que es importante pensar en que el objetivo sería reducir los elementos subjetivos en la toma fotográfica, permitir retomar modelos basados en evidencia y estandarizar el uso de determinados dispositivos o, en su defecto, no recomendar su uso.

### La cámara

La mayoría de los procedimientos que se realizan en la antropología forense, requieren el uso estricto de fotografía y/o video, por ello la elección de un cuerpo de cámara es importante. Por ejemplo, en el caso de fenotipado para la morfometría geométrica, asegurar la calidad de la imagen, por citar un punto importante, es de suma importancia. De igual manera, en el caso de la construcción de modelos de fotogrametría. En éste sentido, se puede elegir una cámara por sus características particulares, rango de accesorios, robustez o disponibilidad (Ray, 1999). Según Verhoff et al., (2012), las ventajas de usar fotografía digital en el contexto forense son:

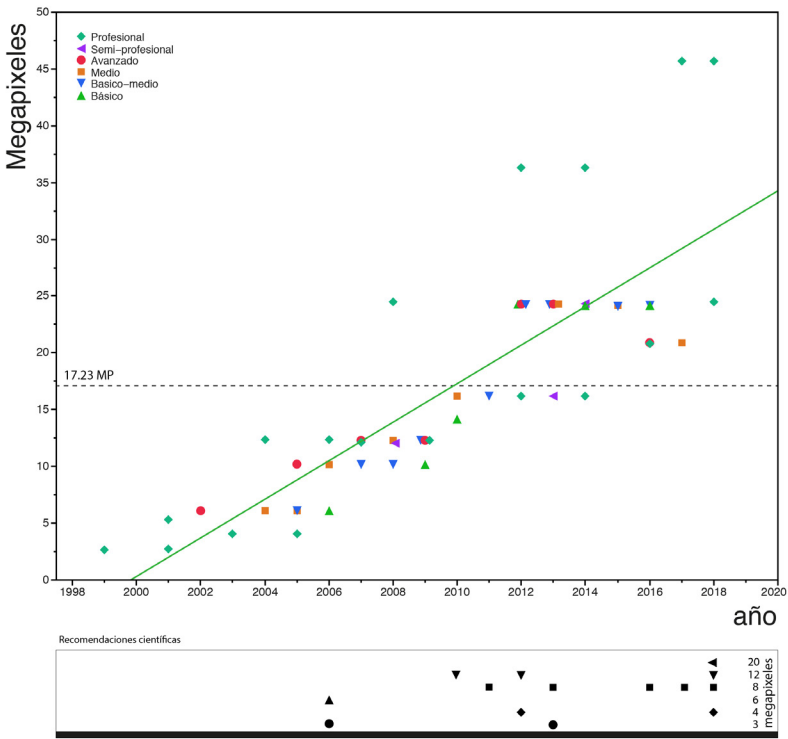
1. La imagen es creada al instante en la cámara,
2. La imagen capturada puede ser revisada al instante,
3. No se requiere un consumo de tiempo elevado en el cuarto oscuro para el revelado,
4. Evita la impresión de fotografías con errores técnicos,

5. El almacenaje digital permite la gestión de una gran cantidad de fotografías, no requiriendo espacio físico como lo sería un archivo impreso.

La diversidad de cámaras en el mercado es enorme por lo que delimitar un protocolo básico es desafiante, empero la elección de un instrumento, en fotografía científica, depende no de las tendencias del mercado sino del diseño experimental que se haya establecido. Las principales decisiones para elegir un dispositivo están relacionadas con los mecanismos de control, la

toma de imágenes individuales o secuencias, propiedades de fotosensor, formato de imagen, procesamiento de material expuesto, procesamiento de imágenes y manejo de datos (Hamber, 1987; Anagnostopoulos y Lesser, 1995; Auty, 1995).

De manera general, el fotógrafo forense usa cámaras digitales réflex de único objetivo (DSLR, *digital single lens reflex*) equipadas con un sensor que expuesto graba una imagen en una cuadrícula de millones de elementos microscópicos sensibles a la luz, normalmente más pequeño que un cuadro de película de 35 mm denomina-



**Figura 3.** Tendencia de la resolución de los sensores de cámaras digitales de la marca Nikon de 1999 a 2018, con una media de resolución de 17.23 megapíxeles y la tendencia que se observa en la línea verde. Las cámaras han sido clasificadas respecto su nivel como: a) básica, b) básica-media, c) media, d) avanzado, e) semi-profesional y f) profesional. La tabla 1 presenta los datos base de la presente gráfica. En la parte inferior de la misma se presenta un panorama de las recomendaciones mínimas de resolución en materia forense en relación con el año, la tabla 2 presenta los datos de cada publicación.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 1.** Modelos de cámaras de la marca Nikon para los distintos niveles de uso de los dispositivos, los megapíxeles con los que cuenta y el año de puesta al mercado.

Modelo	Nivel	Megapíxeles	Año
D3X	Profesional	24.5	2008
D2Xs	Profesional	12.4	2006
D2X	Profesional	12.4	2004
D1X	Profesional	5.3	2001
D1	Profesional	2.66	1999
D5	Profesional	20.8	2016
D4S	Profesional	16.2	2014
D4	Profesional	16.2	2012
D3S	Profesional	12.1	2009
D3	Profesional	12.1	2007
D2Hs	Profesional	4.1	2005
D2H	Profesional	4.1	2003
D1H	Profesional	2.7	2001
D850	Profesional	45.7	2017
D810	Profesional	36.3	2014
D800	Profesional	36.3	2012
D700	Semi-profesional	12.1	2008
D750	Semi-profesional	24.3	2014
Df	Semi-profesional	16.2	2013
D610	Avanzado	24.3	2013
D600	Avanzado	24.3	2012
D500	Avanzado	20.9	2016
D300S	Avanzado	12.3	2009
D300	Avanzado	12.3	2007
D200	Avanzado	10.2	2005
D100	Avanzado	6.1	2002
D7500	Medio	20.9	2017
D7200	Medio	24.2	2015
D7100	Medio	24.1	2013
D7000	Medio	16.2	2010
D90	Medio	12.3	2008
D80	Medio	10.2	2006
D70s	Medio	6.1	2005
D70	Medio	6.1	2004
D5600	Básico-medio	24.2	2016

D5500	Básico-medio	24.1	2015
D5300	Básico-medio	24.1	2013
D5200	Básico-medio	24.1	2012
D5100	Básico-medio	16.2	2011
D5000	Básico-medio	12.3	2009
D60	Básico-medio	10.2	2008
D40X	Básico-medio	10.2	2007
D50	Básico-medio	6.1	2005
D3400	Básico	24.2	2016
D3300	Básico	24.2	2014
D3200	Básico	24.2	2012
D3100	Básico	14.2	2010
D3000	Básico	10.2	2009
D40	Básico	6.1	2006

Fuente: Elaboración propia

do sensores de píxeles activos (APS) que usan la tecnología CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*) para detectar la luz. El uso de una cámara DSLR, es un elemento clave para la reproducibilidad y repetibilidad del protocolo; no importando la marca, el sensor es la discusión importante aquí. Para ello se debe recordar que la resolución de los sensores de las cámaras es expresado en píxeles, es decir, un descriptor fundamental a pequeña escala, que es denominado como la unidad de información que contiene datos que describen el color y la intensidad de un área pequeña de una imagen (McHugh, 2019), basado en un universo de profundidad de color o bits por píxel.

En la actualidad el mercado de cámaras esta en un desarrollo impresionante (figura 3), para la marca Nikon en versión DSLR, desde 1999 que la cámara D1 salió al mercado se tenía una resolución de 2.66 MP, casi 20 años después, se presenta la cámara Z7 con un sensor 45.7 MP, lo que representa un avance del 94% del valor de resolución. La media de resolución de toda la gama de cámaras Nikon es 17 MP, señalando que este dato no analiza las cámaras de formato medio que por mucho superan estos indicadores. Estos descubrimientos ilustran un patrón fundamental: los avances tecnológicos en óptica, cámaras y el control de la iluminación permiten el avance científico.

La media de 17 MP que para el uso forense antropológico da un rango confiable de acercamiento sin pixelación para cualquier análisis pertinente. En éste mismo sentido, Robison, (2010) reflexionaba que tardaría algún tiempo antes de que la resolución de las cámaras de más de 20 MP se volvieran la norma de los fotógrafos de escena de crimen, cifra que esta rebasada en nueve años (tabla 1).

El *Scientific Working Group Imaging Technology* (SWGIT 2013) en sus guías generales para la fotografía de huellas de pie e impresiones de neumáticos recomienda usar una cámara de por lo menos ocho megapíxeles (MP) de resolución. El mismo grupo de científico, en la sección tres de sus guías, para equipo para fotografía de campo e infraestructura de soporte, establece que para el trabajo de fotografía de primer respondiente es recomendable el uso de cámaras con sensores de, por lo menos 6MP, como otros autores también lo definen (Smock y Besant-Matthews, 2006).

Otra recomendación para la resolución del sensor, es el protocolo para captura de fenotipo facial de *Facial Identification Scientific Working Group* (FISWG) establece como mínima necesidad una resolución de 4 MP (FISWG, 2018), sin dotar evidencia del porqué de ésta recomendación.

En un trabajo anterior, se había recomendado que la resolución mínima de trabajo para la digitalización de radiografías debería ser 4 MP (Quinto-Sánchez, 2012). Algunos otros autores que recomiendan 3 MP (Báez-Molgado et al., 2013), aunque para fotografía educativa, no forense o fotografía del departamento de emergencia para fijar ejemplos de lesiones, quemaduras, etc. (ver Smock y Besant-Matthews, 2006). En el marco de la odontología forense, se recomienda entre 8 y 10 MP (Rai y Kaur, 2013).

Los valores recomendados (tabla 2) han sido superados por mucho, basta pensar que la resolución de una cámara Nikon DLRs básica del 2017 fue 24.2 MP (D3400), con un cos-

**Tabla 2.** Recomendaciones de resolución mínima para cámaras de uso forense de diversas guías, libros y/o publicaciones científicas.

Autor / año	Uso	Recomendación
Báez-Molgado et al., (2013)	Fotografía osteológica	3 MP
Smock y Besant-Matthews, (2006)	Fotografía forense en servicios de emergencia, Fotografía educativa, no forense	6 MP
		3 MP
Quinto-Sánchez, (2012)	Radiología	4 MP
FISWG, (2018)	Identificación facial	4 MP
PhotoScan Pro, (2018)	Fotogrametría estándar	5 MP o más.
	Calidad máxima	12 MP
SWGIT (2013)	Primer respondiente	Por lo menos 6 MP
	Fotografía avanzada	8 MP
Jones, (2011)	Huellas de calzado y de neumáticos Podología forense	8 MP
Bodziak, (2016)		
DiMaggio y Vernon, (2017)		
Rai y Kaur, (2013)	Odontología forense	8-10 MP
Robison, (2010)	Fotografía de escena del crimen	8-12 MP
Photomodeler, (2018)	Fotogrametría de resolución promedio	8 MP
	Alta resolución	20 MP

Fuente: Elaboración propia

to en el mercado que todo laboratorio forense puede adquirir. De igual manera, se puede decir que la película 35 mm, ASA 200, color tiene un equivalente a 8.64 MP píxeles, por lo que este umbral ha sido superado por mucho en cámaras de sensor recortado (Smock y Besant-Matthews, 2006).

Es importante reflexionar que un diseño experimental puede determinar la cámara a elegir, por ejemplo, en los protocolos de reconstrucción 3D por fotogrametría las empresas de los softwares más comunes han establecido resoluciones mínimas de trabajo, dependiendo del tipo de resolución necesaria del modelo 3D (tabla 2), 8MP para resolución promedio y 20MP para alta resolución en Photomodeler (tabla 3); o 5MP

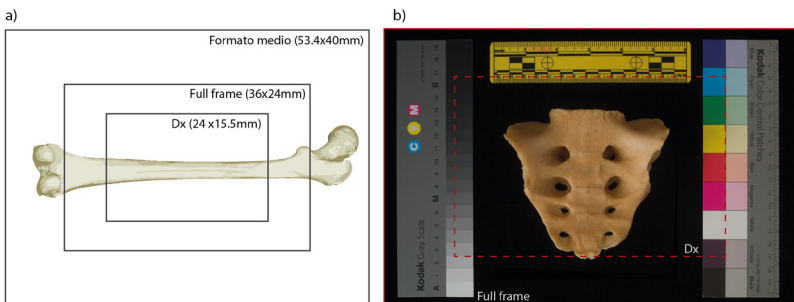
para estándar y 12MP para alta resolución en PhotoScan Pro.

De igual importancia es analizar, el tamaño del sensor (figura 4), es recomendable tener un sensor *full frame* (e.g. 36x24mm, figura 4a-b), aunque una versión recortada (e.g. 24x16mm, figura 4b recuadro línea discontinua), con un factor de recorte del 1.5x, no causaría problemas en un laboratorio con poco presupuesto. La figura 4, muestra los factores de recorte de una fotografía en función del tipo de cámara, ello cuando la distancia y objetivo se mantienen constantes (figura 4a). En una imagen real, usando un lente 50mm a una distancia de 60cm, se puede apreciar la diferencia entre el uso de una cámara *full frame* y una de sensor recortado (figura 4b). Empero, si se realiza una toma secuencial de *n*

**Tabla 3.** Valores de referencia para los modelos fotogramétricos producidos por medio del software Photomodeler según la resolución de la cámara usada.

Precisión	Resolución	Método de calibración	Ángulo de toma	Fotoreducción	Calidad de la orientación
Baja	640x480	Sin calibración	15 o menos	Dos fotos	Pocos puntos por foto
Promedio	8MP 3264x2468	Calibración en software	20-90	Tres fotos	15+ puntos 60% de cobertura
Alta	20MP+ 5400x3600	Calibración en campo	Cercano a 90	Ocho fotos	35+ puntos 60% de cobertura

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.** Tamaños de sensores y factor de recorte. a) Esquema que muestra la relación espacial entre tres sensores y el factor de recorte en una fotografía de fémur. b) Fotografía realizada con una cámara Nikon D4 y un lente 50 mm fijo a 60 cm del hueso sacro, se puede ver en el recuadro de línea roja discontinua el factor de recorte de una cámara Nikon D3400 (Dx) con iguales parámetros del lente y distancia.

Fuente: Elaboración propia

cantidad de fotografías se puede generar una nueva imagen de salida con la unión (*photomerge process*) de las anteriores y mejorar cualquier problema de recorte por sensor, con un costo de postproceso no arduo (ya que existen automatizaciones), pero que demanda tiempo extra.

Otro aspecto de igual importancia es definir la capacidad de trabajo en campo respecto del almacenaje de las imágenes tanto en tarjetas de memoria, como en su destino final en un servidor o disco duro (tabla 4). En la actualidad, las tarjetas de memorias han elevado su capacidad de almacenaje, por ejemplo, si se usa una cámara *full frame*, como la D850 de Nikon, disparando en formato RAW generará archivos entre 50-60 MB por lo que en una tarjeta de 32 GB podríamos almacenar 500 imágenes. Para 2018, las tarjetas llegaron a una capacidad de almacenaje de 512 GB, por lo que podríamos almacenar 10,240 imágenes de la misma cámara. Asimismo, las cámaras de alta gama se construyen con dos ranuras para tarjetas de memoria lo que ayuda a generar respaldos de las imágenes y aumentar la capacidad de almacenaje de fotografía y/o video.

## Lentes

La elección de un lente para fines científicos forenses es igual o más importante que la cámara y se rige por el mismo principio de precisión y repetibilidad del fenómeno en estudio. Por definición, toda desviación de la imagen ideal se le denomina errores de lente o aberración óptica. Los efectos debidos al índice de refracción del vidrio varía con la longitud de onda, se llaman aberraciones cromáticas, los debidos a que la forma de las superficies esféricas del lente, son

aberraciones esféricas y los debidos a que la luz se comporta como si fuera un movimiento ondulatorio son efectos de difracción (Jacobson et al., 2000). En general, estos efectos o aberraciones aumentan tanto con la apertura como con el ángulo de campo (Jacobson et al., 2000).

Teóricamente, siguiendo a Jacobson et al., (2000), en un proceso de captura de imagen existen siete errores cromáticos y esféricos primarios que pueden afectar una imagen. Dos de ellos son errores directos o aberraciones axiales que afectan a todas las partes del campo de imagen, así como a la zona central, son conocidas como aberración cromática axial (figura 5c-i-ii) y aberración esférica (figura 5d). El resto de los errores afectan solo a los rayos que pasan oblicuamente a través del lente y no afectan a la zona central (figura 5c-iii). Los efectos de estos errores oblicuos, o aberraciones fuera del eje, aumentan con la distancia del punto de la imagen desde el eje del lente, éstos son denominados: a) aberración cromática transversal (o lateral) (antiguamente llamada ‘color lateral’), b) coma, c) curvatura de campo, d) astigmatismo y e) distorsión (curvilinea). No debe olvidarse que los efectos de degradación aparecen en orden a medida que aumenta el ángulo de campo (Jacobson et al., 2000).

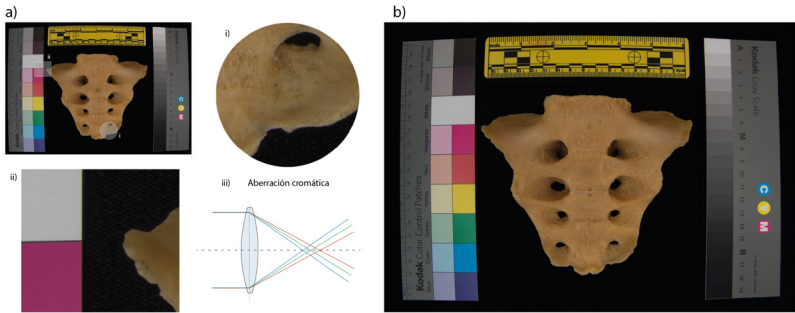
En relación a la aberración, en su trabajo titulado “*Photogrammetric Measurement error associated with lens distortion*”, Neale et al., (2011) afirma que el lente 50 mm es el que presenta menor cantidad de distorsión, siendo la referencia para aumento de este fenómeno por arriba o debajo de esta distancia focal. Como estándar, entonces se recomienda el uso de un lente 50 mm fijo, siempre intentando quedar entre la zona verde (sensu Neale et al., 2011); sobre todo en los casos donde se requieran las imágenes para mediciones o fotogrametría. Algunas refe-

**Tabla 4.** Resolución del sensor, dimensiones y tamaño del archivo de salida en cámaras entre 7 y 45 MP.

Megapíxeles	Resolución del sensor (píxeles)		Tamaño del sensor (mm)		Tamaño del archivo (MB)
	ancho	alto	ancho	alto	
45.4	8256	5504	35.9	23.9	97.8
16.6	4992	3328	36	24	47.5
10.1	4368	2912	35.8	23.9	36.4
8.2	3888	2592	22.2	14.8	28.8
7.1	3072	2304	5.7	4.3	20.3

Fuente: Elaboración propia





**Figura 5.** Principales desviaciones (aberraciones) de una fotografía debido a la óptica. a) fotografía tomada en formato nativo (raw) sin editar el efecto de aberración cromática, se presentan dos ejemplos de la aberración: i) sobre borde del hueso sacro en su porción infero-lateral izquierda y ii) en la escala-referencia de color del lado derecho de la fotografía. Además, iii) se presenta un esquema de cómo se comporta la aberración cromática a nivel óptico. b) aberración esférica, fotografía tomada con un lente Nikon 17-35mm (@17) f/1:2.8. Se puede observar la deformación del sacro y escalas en la toma.

Fuente: Elaboración propia

rencias recomiendan el uso del dente 18-55mm<sup>2</sup> estándar de cámaras DSLR (Báez-Molgado et al., 2013). Sin embargo, según lo expuesto por Neale la mejor opción es el uso de lente fijo, además de que, al tener menos número de elementos en el lente, sus aberraciones y distorsiones son menores. La comparación de las gráficas MTF (figura 6a-c) puede ayudarnos a tener evidencia de que el uso del 50mm<sup>3</sup> fijo logra valores excelentes en varias profundidades de campo y aberraciones cromáticas (figura 6c-d). Además, para verificar que se está trabajando en la misma distancia focal es necesario fijar el lente con una cinta, ya que con una leve manipulación la distancia focal cambiará. Luego entonces, no se recomienda el uso del objetivo estándar 18-55mm, sino un lente fijo en cualquiera de su distancia focal requerida.

## Número $f$ y profundidad de campo

Los números  $f$  indican el número de veces que el diámetro efectivo de la abertura se divide en la distancia focal del objetivo (Jacobson et al., 2000) y la profundidad de campo es la distancia entre las partes más cercanas y las más lejanas de un sujeto que puede realizarse como una imagen

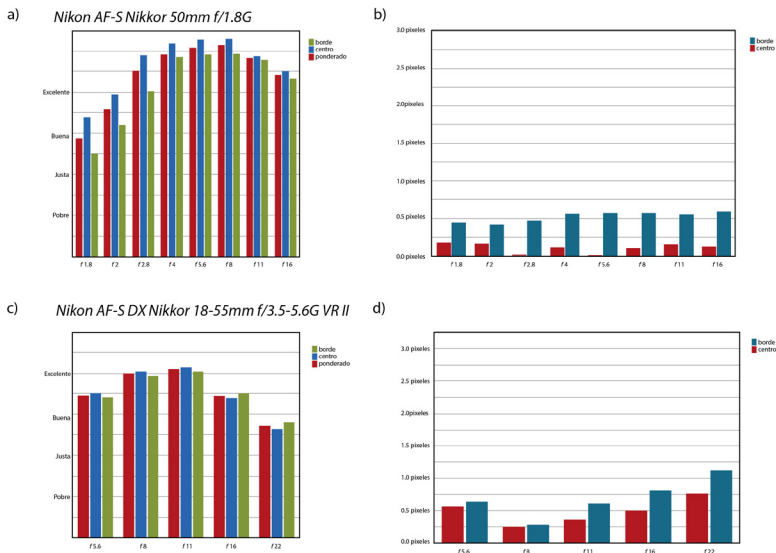
fotográfica con detalles razonablemente nítidos en una configuración de enfoque del lente (Langford y Bilissi, 2007), en otras palabras, sería un rango variable de nitidez en la fotografía en función del número  $f$ .

La combinación entre estos factores ayudará a la nitidez de la imagen, factor que determinará la calidad de mediciones realizadas en alguna plataforma digital en algún análisis posterior. Por ejemplo, en el caso de fotografiar un cráneo en vista frontal, además de asegurar su orientación al plano de Frankfurt, deberíamos conocer la distancia o longitud máxima craneana (distancia glabella-opistocráneo, como puntos más anteroposteriores o bien la anchura craneal máxima, eurion-eurion). Conociendo esta distancia sabemos que mediante la elección de un valor  $f$  lograremos una profundidad de campo, tal que, podamos tener enfocado (nítido) todo el cráneo (figura 7). Existen plataformas<sup>4</sup> que nos permiten calcular la profundidad de campo óptima para una determinada distancia requerida. Para ello necesitaremos: la marca de la cámara, la distancia focal, el número  $f$  seleccionado y la distancia al sujeto (figura 7). El cálculo se realiza por medio de tres modelos matemáticos: a) distancia hiperfocal, b) distancia más cercana

2 Nikon AF-S DX Nikkor 18-55mm f/3.5-5.6G VR II

3 Nikon AF-S Nikkor 50mm f/1.8G

4 Depth of Field Calculator. © 2005 Don Fleming. All rights reserved. <http://www.dofmaster.com/dofjs.html>



**Figura 6.** Gráficas función de transferencia de modulación (MTF) y de aberración cromática (AC) de los lentes: a) Nikon AF-S Nikkor 50mm f/1.8G y b) Nikon AF-S DX Nikkor 18-55mm f/3.5-5.6G VR II. Es observable la calidad de los lentes fijos, respecto de los lentes compuestos. En el caso de las gráficas MTF se presenta los valores de los bordes, centro y una ponderación. Para las AC, centro y borde.

Fuente: *Elaboración propia*

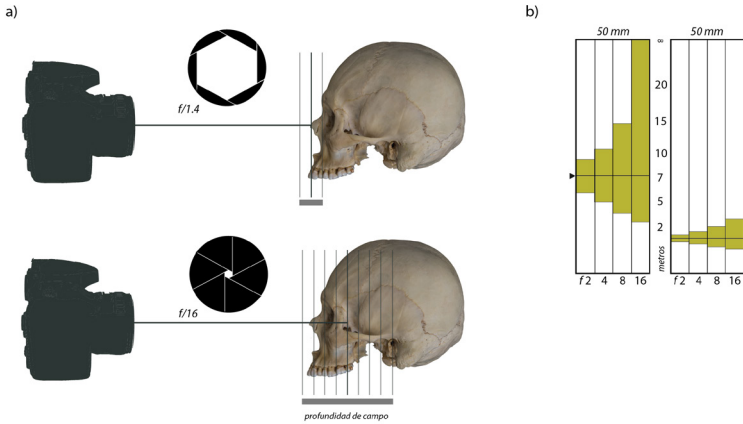
y c) lejana de nitidez aceptable. Como ejemplo, fotografiando un cráneo a 0.7 m, con una cámara Nikon D4, un lente 50 mm, numero f-16, resulta en 17.7 cm de nitidez, con un rango entre 62.2 cm y 80 cm. Lo que resulta en una distancia aceptable para una fotografía frontal de cráneo (figura 7a). De igual manera se debe señalar que en el caso de que la distancia cambie, la profundidad de campo también cambia, incluso bajo los mismos parámetros (figura 7b), con un objeto situado a 7 metros y un f/16 lograremos un enfoque total al infinito, empero en el caso de un objeto colocado a 1.5 metros la profundidad de campo se reduce a 1.5 metros.

Cómo la nitidez, puede alterar la percepción de algún carácter evaluado en una fotografía o la medición realizada en el mismo, asegurar que la toma estandarizada siempre tenga el valor óptimo *f* en relación con el diámetro máximo anteroposterior del objeto en estudio, según el plano a fotografía en el mismo. Por ejemplo, en las colecciones odontológicas las fotografías de-

ben pensarse en obtener nitidez en los planos a realizar mediciones o evaluación morfoscóptica. Asimismo, los dictámenes en materia forense deben reportar los valores empleados para la realización de fotografías ya que con ello se valida que la técnica fotográfica ha sido la correcta.

### Escalas

Las escalas son elementos determinantes en el campo de las ciencias forenses, ya que documentan evidencia en general, pero que también son de vital importancia en comparación para rasgos faciales, medidas antropométricas diversas, huellas de pies, etc. Una escala o testigo métrico apropiada debe ser aproximadamente del mismo tamaño que la estructura, lugar o evidencia que se quiere documentar; y deberá estar en el mismo plano o superficie que la evidencia (Ferrucci et al., 2013; Mancini y Sidoriak, 2018).



**Figura 7.** Relación del número  $f$  y la profundidad de campo (DOF). a) Distancias de nitidez aceptable en dos valores  $f$  diferentes. El protocolo fotográfico exige la correcta definición de estos parámetros para tener una nitidez perfecta en cada toma. b) Relación de la distancia del objeto fotografiado en la zona de nitidez en función del valor  $f$  empleando un lente 50mm fijo.

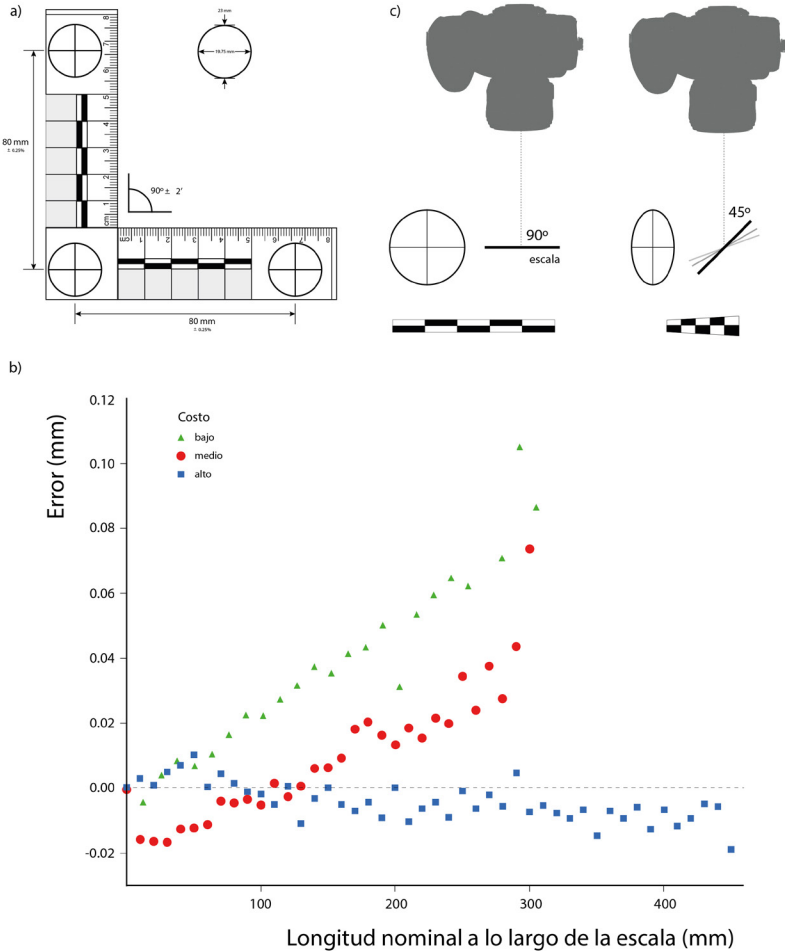
Fuente: Elaboración propia

En su revisión, Ferrucci et al., (2013), titulado *Dimensional Review of Scales for Forensic Photography* se establecen rasgos importantes respecto de la calidad de las escalas en fotografía forense, el resultado más importante es que la calidad de las mismas es cuestionable y no se adhiere al estándar. Por lo tanto, no se recomienda el uso de impresiones de escalas, ya que es esperable menor calidad de estas. En dicha revisión se analiza la escala estándar ABFO No. 2, (figura 8a) de cuatro diferentes empresas, analizando: 1) la precisión de la escala determinada por el error en la posición de las graduaciones de longitud con respecto a “cero”, 2) los diámetros interno y externo de los círculos de la escala utilizando algoritmos de ajuste de círculo proporcionados por el sistema de medición, 3) las mediciones de la distancia del centro a centro entre círculos y 4) el efecto de pandeo o deformación de la escala.

El reporte encuentra que las medidas de los diámetros internos y externos del círculo, y la distancia de centro a centro demostraron falta de cumplimiento de las especificaciones. Asimismo, se evidencia que la perpendicularidad de las dos patas o alas de las escalas, mostraron que más de la mitad de las reglas probadas estaban fuera de

la especificación ABFO No. 2. Además, encontraron que el efecto de la flexión en la escala de longitud era insignificante. De igual manera, el reporte enfatiza que entre más costosa sea la escala también es más precisa (figura 8b), esto cuando se comparan escalas de metálicas, que son las que tienen un menor orden de error. El reporte también insiste en que las escalas plásticas con el tiempo y mal uso llegan a deformarse fácilmente, por lo que su extremo cuidado y reemplazo debe ser evaluado constantemente. Lo anterior, permite recomendar el análisis de las escalas mediante un seguimiento de uso y caracterización del posible error por deformaciones y/o uso general.

Finalmente, es importante decir que la escala, cuando se requiera hacer uso para protocolos de morfometría geométrica o mediciones generales de algún hueso, ésta debe estar colocada en estricta ortogonalidad al plano focal de la cámara; esto es, 90 grados (figura 8c). De lo contrario, podemos ver que algún movimiento de este ángulo modificará la distancia conocida en la escala lo cual hará que se alteren las posibles mediciones sobre la fotografía. Los círculos de la escala ABFO No. 2 permiten asegurar métricamente si el ángulo de 90 grados ha sido respetado en las tomas (figura 8c). Para ello se



**Figura 8.** Escala o testigo métrico en antropología forense. a) Escala ABFO No. 2 estándar para uso odontológico. b) Relación de las longitudes nominales a lo largo de una escala y su porcentaje de error, se presentan datos para escalas de bajo, medio y alto costo. El patrón que se observa en el caso de las de mayor valor, y por ende más calidad y certificación, es de un menor error. Estas escalas son también de materiales más resistentes como el acero inoxidable) Efecto de la ortogonalidad en una escala, la deformación de esta es evaluable vía los círculos de la escala, lo que permitirá saber el grado de error en el escalado digital de una imagen para mediciones a posteriori.

Fuente: Elaboración propia

recomienda el uso de mesas de reproducción fotográfica. Ello permite la estandarización de la distancia al objeto de manera precisa. De lo

contrario un tripie que permita que el elevador central se posicione a 90° también puede suplir la mesa de reproducción. La inclusión de un ni-

vel en la cámara permitirá la verificación de que el plano de toma se mantiene ortogonal.

### Registro de color

El campo de aplicación del color en forense es basto y de suma importancia, por ejemplo en la caracterización y comparación de evidencia (Thornton, 1997) ya que el color es elemento primario de evaluación para el reconocimiento de algún material y/o objeto. Por ejemplo, en el caso del registro de diversos efectos de agentes exógenos en un cuerpo durante el proceso de descomposición, la obtención de un color real para su caracterización es de suma importancia (ver Dupras y Schultz, 2014). De igual manera, existen numerosas aplicaciones para la medición del color en el cabello humano (ver Vaughn et al., 2009).

En el contexto antropológico forense el registro del color se realiza desde las prospecciones, durante las exhumaciones e incluso en el trabajo del laboratorio. Cualquier fotografía incluida en in dictamen deberá ser estandarizada en su color, ya que el intento del registro es fijar la verdadera naturaleza del color de una escena, objeto o persona. La **tabla 5** resume algunas de las aplicaciones que el color tiene en el campo antropológico forense. Algunas de las más importantes serían: 1) en la fotografía realizada en

intervenciones en fosas comunes, el registro de pertenencias personales y objetos rescatados; 2) el registro de patrones de alteraciones tafonómicas y 3) la identificación facial.

La visión humana es capaz de detectar el color por medio de tres tipos de conos en el ojo, los cuales presentan esta característica de fotópica, al igual que un sensor CMOS, la única diferencia es la comparación de la sensibilidad. Típicamente, las cámaras profesionales producen imágenes en formato RAW que tienen la característica de no tener una corrección de los datos de intensidad para cada canal de color (e.g. RGB), que es llamado color de temperatura de la iluminación. Por ello, para el registro de color es requerimiento el obtener una imagen tipo RAW.

El registro de color debe guiarse con alguna tabla de referencia o calibración de color (**figura 4a**, fotografía del sacro), ello permitirá al usuario de una referencia conocida de color dentro de la toma fotográfica. Además, la respuesta al color debe ser ajustado mediante la toma de una fotografía con una carta o tarjeta de grises neutral (gris 18%), lo que permite la estandarización de esta variable independientemente de la fuente de luz que se tenga, mediante algún programa de edición de fotografía.

Luego entonces, se recomienda el uso de tarjetas de gris de 18% y tabla de referencia de color (**figura 9**). En el caso de uso de *flash*, puede

**Tabla 5.** Ejemplos de aplicaciones del correcto registro del color en antropología forense.

No.	Área de aplicación	Descripción
1	Tafonomía	Registro real y preciso del color en restos humanos y sus contextos de deposición, lo permite la contextualización posterior en el informe, tanto para peritos o investigadores reanalizando datos.
2	Registro de pertenencias personales	Registro real y preciso de elementos de identificación potencial de alguna persona catalogada como NN.
3	Identificación facial	El correcto registro del color determina la identificación de marcas de cicatrices, pecas, acné y otras muchas evidencias dermatológicas potenciales de identificación de una persona.
4	Registro de lesiones	Registro real y preciso del color asociado a una lesión ayuda el diagnóstico diferencial de algún proceso de enfermedades previa o lesiones asociadas a la causa de muerte.
5	Fenotipado de color de ojos, pelo o piel	En estudios de asociación genómica se busca calcular el color de ojos por medio de fotografías, el correcto uso de referencias de color es de mucha utilidad para tener una lectura precisa.
6	Arqueología forense	Registro real y preciso del color de estratos, caracterización colorimétrica de suelos, registro de objetos asociados,

Fuente: Elaboración propia

ajustarse conociendo que tiene una temperatura de 5400 grados Kelvin (K), referente con el que en algún programa de edición de fotografía pueda ser corregido, todo lo anterior asegurará que el color que se pueda estimar en una imagen sea lo más cercana a la realidad.

## Error

El uso de la fotografía es equiparable, con sus salvedades, a una técnica de medición estándar, en ambos casos el uso de la fotografía impone una limitación práctica a lo que puede estudiarse: la capacidad del operador de realizar fotografías precisas, es decir, su error de registro (von Cramon-Taubadel et al., 2007). Un corolario, derivado de protocolos de fenotipado, define la perspectiva de la fotografía científica respecto del error:

1. Un resultado obtenido de una fotografía es completo solo cuando se acompaña de una evaluación cuantitativa de su incertidumbre (Taylor y Kuyatt, 2009), por ejemplo, medir el efecto de la toma fotográfica para capturar la forma de algún hueso.
2. La sofisticación de las cámaras fotográficas no implica que se elimina el error en el registro o captura, por el contrario, el error siempre se encontrará presente y reducirlo es un elemento importante (Arnqvist y Martensson, 1998).

3. Diversas aberraciones fotográficas tiene potencial efecto sobre la forma y tamaño de elementos osteológicos o corporales fijados por una cámara fotográfica, por lo que la estandarización del error es sumamente importante (Jacobson et al., 2000).

## MODELO GENERAL DEL ERROR DE MEDICIÓN

El error de medición “es la desviación del resultado en una medición al valor verdadero de esta” Merilä y Björklund, (1995). Según Taylor y Kuyatt, (2009) en las *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results* la incertidumbre de un resultado de un grupo de medidas (que es adecuado a dos fotografías) se agrupan en dos categorías de acuerdo con el método usado para estimar sus valores numéricos:

- a) Aquellos que son evaluados por métodos estadísticos
- b) Aquellos que son evaluados por otros medios.

La evaluación correcta del error de medición debe incluir ambos enfoques. Dentro del tipo a), Taylor y Kuyatt, (2009) recomiendan el uso de estadísticas como ANOVA o correlaciones en la resolución de estos efectos. La evaluación de los factores b) están orientados a un juicio científico sobre: i) datos de medidas previas, ii) experiencia o conocimiento general del



**Figura 9.** Fotografía del tercio facial medio con una escala o tarjeta de gris al 18% de grado fotográfico, empleada para la estandarización del balance de blancos en el Proyecto CANDELA.

Fuente: Elaboración propia

comportamiento y propiedades de los materiales e instrumentos, iii) especificaciones o recomendaciones de fabricantes, iv) datos proveídos en la calibración y otros reportes disponibles y v) incertidumbres asignadas para hacer referencia a los datos tomados de manuales.

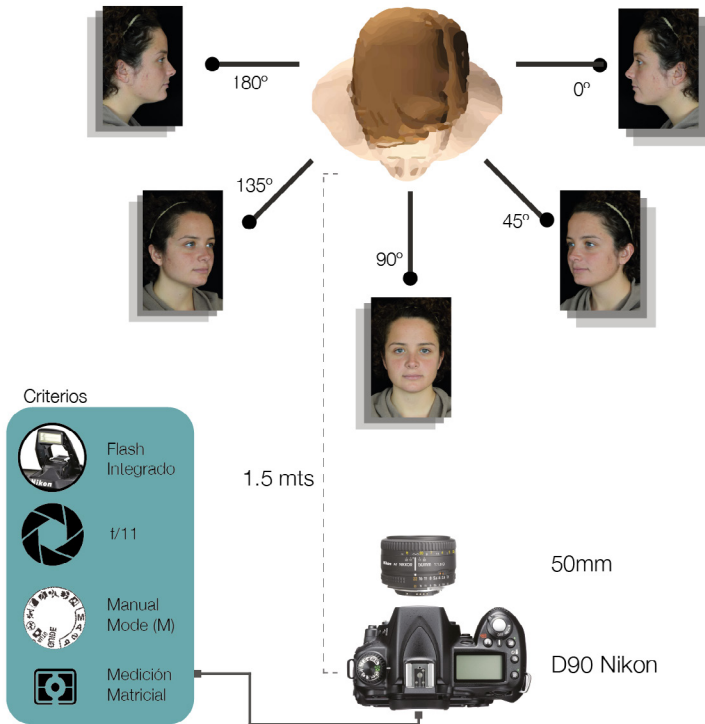
Arnqvist y Martensson, (1998) sintetizan, siguiendo a Rabinovich, (1994), los factores de error de medición como:

$$EM(\zeta) = \zeta_m + \zeta_i + \zeta_n \quad (1)$$

Donde,  $\zeta_m$  es el error metodológico,  $\zeta_i$  el error del instrumento y  $\zeta_n$  el error personal. Como se observa en el modelo, cada componente es aditivo y se subdivide como sigue: el error

metodológico en preparación del espécimen, reducción dimensional (coplanaridad) y preparado de datos; el error instrumental en distorsión óptica cuando se captura el individuo, distorsión óptica al reproducir el individuo, distorsión digital en la captura y reproducción del individuo; finalmente el error personal, que es el error cometido por el o los observadores en un banco de datos (Arnqvist y Martensson, 1998).

En fotografía científica se necesita la estandarización de procesos, tratamientos, estandarizaciones y correcciones para que las modificaciones a la estructura u objeto fijado



**Figura 10.** Protocolo fotográfico del Consorcio CANDELA, se realizaron tres tomas de cinco fotografías cada una para después poder elegir la mejor toma entre ellas y tener un respaldo. Con ellas se generaron coordenadas tridimensionales de *landmarks* por medio de fotogrametría basada en puntos.

Fuente: Elaboración propia

fotográficamente sean las menos posibles (Arnqvist y Martensson, 1998).

### Recomendaciones para el error

Para trabajos donde se requiera el estudio de fenotipos en dos o tres dimensiones es imperante la realización de, por lo menos, dos tomas fotográficas independientes (Klingenberg, 2015). En la construcción de la estimación del error, se incluiría en el modelo estadístico la variable, toma como parte del modelo de análisis. Así, se espera que no haya diferencias significativas entre la toma 1 y la toma 2, pudiendo argumentar que la toma fotográfica no es un efecto en el modelo de resultados o que su rango de variación es despreciable. Además, la toma en dos eventos permite tener respaldo de fotografías para la elección. Por ejemplo, en el caso del Consorcio para el Análisis de la Diversidad y Evolución de Latinoamérica (CANDELA), se fijó el fenotipo facial por medio de cinco fotografías faciales que fueron tomadas en tres iteraciones (ver Ruiz-Linares et al., 2014; Quinto-Sánchez et al., 2015), resultando 15 fotografías en la base de datos, más una fotografía de acercamiento de los ojos para la estimación del color, procedimiento que incluía una tarjeta de referencia de grises (figura 10, ver figura 9 para detalle de escala de grises).

Ahora bien, en el caso del trabajo de campo no es posible la realización de tomas independientes y quizás la toma por un segundo perito sea complicada por las condiciones de trabajo. Empero, es importante decir que la caracterización del error de toma fotográfica en laboratorio debe ser reportada en informes o dictámenes periciales. Es también básico, que las estimaciones de error sean periódicas para que el perito o investigador tengan sustento de la evolución del factor de error a través del tiempo. Lo anterior es sumamente importante dentro del modelo de antropología forense basado en evidencia, donde el factor de la experiencia es abandonado y es sustituido por una caracterización científica del error.

### COMENTARIO FINAL

Aquí se ha presentado evidencia para la integración de un protocolo mínimo de fotografía científica aplicada a la antropología forense, que potencialmente puede extrapolarse a otras áreas del conocimiento. Han sido solo revisados seis parámetros de decenas de factores que podrían influir en una toma técnica-científica de fotogra-

fías. Empero, este primer paso es un afán para iniciar este proceso de construcción de guías, recomendaciones o protocolos en el marco de modelos basados en evidencia (e.g. Sackett et al., 1996; Sackett, 1997), incluso grupos de trabajo científicos de fotografía aplicada, que quizás sería una de las mejores apuestas.

Desde 1990, los laboratorios y profesionales de ciencias forenses estadounidenses e internacionales se han integrado en Grupos de Trabajo Científicos (SWG) para mejorar las prácticas disciplinarias y construir estándares de consenso. Lo que debe ser una prioridad no solo en fotografía científica, sino en todas las áreas de la ciencia forense.

En este sentido, el texto tiene dos puntos a los que hace frente, el primero es la recomendación del *Informe para el Fortalecimiento de las Ciencias Forenses en EUA* (NAS, 2009) que hace énfasis en los procesos de validación, repetibilidad y reproducibilidad de las ciencias forenses, lo que aplica perfectamente al caso de la fotografía aplicada. El segundo, es el desafío de la creación de estándares como la presente propuesta (que se actualicen en el tiempo realizando recomendaciones por lo menos cada cinco años) basada en evidencia, su mejora en el tiempo y la evaluación de su aplicación en campo y laboratorios.

Ello produce un debate sobre la necesidad de la creación de grupos científicos de ciencias forenses nacionales o, en su defecto, que alguna asociación científica ya establecida las retome como una propuesta y se publiquen en consecuencia. De este modo, se tiene un marco para la recomendación de la elección de algún dispositivo, se integran datos de publicaciones forenses y científicas de áreas particulares además de poder generar interlocución entre especialistas de rubro (peritos y académicos) para lograr la mejora continua de las guías o estándares desarrollados. La actualización de estas en algún periodo es de suma importancia ya que permite que se reevalúe científicamente la pertinencia de alguna recomendación, se eliminen o hagan adendas.

Un punto a enfatizar lo es que se requiere la sistematización y jerarquización de la evidencia (e.g. Evans, 2003), para la generación de un sistema estándar de clasificación de niveles de evidencia en clases, resultado del análisis científico de calidad de datos de cada publicación, en esta caso, relacionadas con temas de fotografía científica. Este punto no es menor, por el contrario, se piensa como una necesidad imperante en



el caso de la comunidad científica forense. Este punto permite la ponderación de la evidencia, donde muchos factores como los valores muestrales, el diseño experimental, el impacto de la publicación e incluso el método de validación de este, son criterios que definen la escala de jerarquización de la evidencia.

Este capítulo es un primer acercamiento a la construcción de un programa de investigación en materia de fotografía científica, con una rama en las ciencias forense antropológicas. Por ende, un llamado a la producción de trabajos en la materia. También desde el marco de la docencia, es de suma importancia la enseñanza de la sistematización de protocolos de fotografía científica en las aulas de todas las ciencias forenses, robusteciendo el carácter teórico de los alumnos. Y, finalmente, en la praxis pericial, donde los profesionales de la fotografía y de ciencias a fi-

nes, aportan datos de suma importancia para la generación de protocolos ajustados a la realidad de su aplicación, una suerte de validación activa de lo aquí descrito

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE216318, y parcialmente beneficiado por el proyecto PAPIIT-DGAPA IA401818 “*Proyecto NN: Colección Osteológica Nacional*” y del Proyecto Conacyt de desarrollo científico para atender problemas nacionales PN-2016-2518 con el título “*Proyecto NN: Protocolos de Identificación Humana, Colección Osteológica Nacional y Base de Datos de Personas No Identificadas y/o Desaparecidas*”.

## REFERENCIAS CITADAS

- Albanese J, Montes R. 2011. Latent Evidence Detection using a Combination of Near Infrared and High Dynamic Range Photography: An Example Using Bloodstains. *J Forensic Sci* 56:1601–1603.
- Anagnostopoulos C, Lesser M. 1995. Cameras and Systems for Electronic Photography and Scientific Imaging. *SPIE* 2416.
- Arnqvist G, Martensson T. 1998. Measurement error in geometric morphometrics: empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. *Acta Zool Acad Sci Hungaricae* 44:73–96.
- Auty J. 1995. An image acquisition system for traffic monitoring applications. *Proc SPIE* 2415:119–133.
- Báez-Molgado S, Hart K, Najarro E, Sholts S, Gilbert H. 2013. Cranium and mandible imaging protocol: A guide for publication-quality digital photography of the skull (FOROST Skull Photography Protocol ). 3rd Semin Int Antropol Forense:1–14.
- Barone PM. 2013. Forensic Archaeology. In: Maggio R, Barone PM, editors. *Geoscientists at Crime Scenes*. Springer, Cham. p 191–214.
- von Cramon-Taubadel N, Frazier BC, Lahr MM. 2007. The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods, and modifications. *Am J Phys Anthropol* 134:24–35.
- Düppe K, Becker M, Schönmeier B. 2018. Evaluation of Facial Anthropometry Using Three-Dimensional Photogrammetry and Direct Measuring Techniques. *J Craniofac Surg*:1.
- Dupras TL, Schultz JJ. 2014. Taphonomic Bone Staining and Color Changes in Forensic Contexts. In: Pokines J, Symes S, editors. *Manual of Forensic Taphonomy*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group. p 314–340.
- Evans D. 2003. Hierarchy of evidence: a framework for ranking evidence evaluating healthcare interventions. *J Clin Nurs* 12:77–84.
- Ferrucci M, Doiron T, Thompson R, Jones II J, Ballou S, Neiman J. 2013. Dimensional Review of Scales for Forensic Photography.
- FISWG. 2018. Facial Identification Scientific Working Group. Available from: [fiswg.org](http://fiswg.org)
- Gómez-Valdés JA, Quinto-Sánchez M, Menéndez Garmendía A, Velemínska J, Sánchez-Mejorada G, Bruzek J. 2012. Comparison of methods to determine sex by evaluating the greater sciatic notch: Visual, angular and geometric morphometrics. *Forensic Sci Int* 221:156.e1-156.e7.

- Gouse S, Karnam S, Girish H, Murgod S. 2018. Forensic photography: Prospect through the lens. *J Forensic Dent Sci* 10:2.
- Hamber A. 1987. Colour photography vs electronic digital imaging as a system for recording works of art. *J Photogr Sci* 35:200–207.
- Heneghan C, Mahtani KR, Goldacre B, Godlee F, Macdonald H, Jarvies D. 2017. Evidence based medicine manifesto for better healthcare. *BMJ* 357.
- Jacobson R, Ray S, Attridge G, Axford N. 2000. *The Manual of Photography: Photographic and digital imaging*. 9th ed. Oxford, UK: Focal Press.
- Kim D-I, Lee U-Y, Park D-K, Kim Y-S, Han K-H, Kim K-H, Han S-H. 2006. Morphometrics of the Hyoid Bone for Human Sex Determination from Digital Photographs. *J Forensic Sci* 51:979–984.
- Klingenberg C. 2015. Analyzing fluctuating asymmetry with geometric morphometrics: concepts, methods, and applications. *Symmetry (Basel)* 7:843–934.
- Langford M, Bilissi E. 2007. *Advanced Photography*. 7ma ed. Burlington: Focal Press.
- Lee WC, Khoo BE, Abdullah AFL Bin, Abdul Aziz ZB. 2013. Statistical Evaluation of Alternative Light Sources for Bloodstain Photography. *J Forensic Sci* 58:658–663.
- Mancini K, Sidorciak J. 2018. *Fundamentals of forensic photography*. New York, NY: Routledge.
- McHugh S. 2019. *The pixel: a fundamental unit of digital images*. Cambridge in Colour:1.
- Merilä J, Björklund M. 1995. Fluctuating Asymmetry and Measurement Error. *Syst Biol* 44:97–101.
- Muñoz-Muñoz F, Quinto-Sánchez M, González-José R. 2016. Photogrammetry: a useful tool for three-dimensional morphometric analysis of small mammals. *J Zool Syst Evol Res* 54:318–325.
- NAS. 2009. *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*.
- Neale W, Hessel D, Terpstra T. 2011. Photogrammetric measurement error associated with lens distortion. *SAE Tech Pap* 01–0286:1–54.
- Oliver WR. 2017. Effect of History and Context on Forensic Pathologist Interpretation of Photographs of Patterned Injury of the Skin. *J Forensic Sci* 62:1500–1505.
- Oliver WR, Leone L. 2012. Digital UV/IR Photography for Tattoo Evaluation in Mummified Remains\*. *J Forensic Sci* 57:1134–1136.
- Pirenne M. 1967. *Vision and the Eye*. London: Chapman and Hall.
- Quinto-Sánchez M. 2012. Metodologías y protocolos en el proceso de digitalización y análisis de radiografías. In: Bautista-Martínez J, Insaurralde Caballero M, editors. *Manual de radiología aplicada al estudio de bienes culturales*. Guadalajara, Jalisco: ECRO El Colegio de Michoacan AC Gobierno del Estado de Jalisco. p 233–257.
- Quinto-Sánchez M, Adhikari K, Acuña-Alonzo V, Cintas C, Silva de Cerqueira CC, Ramallo V, Castillo L, Farrera A, Jaramillo C, Arias W, Fuentes M, Everardo P, de Avila F, Gomez-Valdés J, Hunemeier T, Gibbon S, Gallo C, Poletti G, Rosique J, Bortolini MC, Canizales-Quintero S, Rothhammer F, Bedoya G, Ruiz-Linares A, Gonzalez-José R. 2015. Facial asymmetry and genetic ancestry in Latin American admixed populations. *Am J Phys Anthropol* 157:58–70.
- Rabinovich S. 1994. *Measurement Errors: theory and practice*. New York: Amer Inst of Physics.
- Rai B, Kaur J. 2013. Different Types of Light in Forensic Photography. In: Rai B, Kaur J, editors. *Evidence-Based Forensic Dentistry*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p 198.
- Ray S. 1999. *Scientific Photograph and Applied Imaging*. Boston.
- Redsicker D, Gordner G, James S, Laws A, Redsicker A. 2001. *The Practical Methodology of Forensic Photography*. 2da ed. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Robison E. 2010. *Crime Scene Photography*. 2da ed. Burlington, MA: Elsevier Academic Press.
- Ruiz-Linares A, Adhikari, Kaustubh Acuña-Alonzo V, Quinto-Sánchez, Mirsha Jaramillo C, Arias W, Fuentes M,

- Pizarro M, Everardo P, de Avila F, Gómez-Valdés J, León-Mimila P, Hunemeier T, Ramallo V, Silva de Cerqueira CC, Burley M-W, Konka E, Zagonel de Oliveira M, Veronez MR, Rubio-Codina M, Attanasio O, Gibbon S, Gallo C, Poletti G, Rosique J, Schuler-Faccini L, Salzano FM, Bortolini M-C, Canizales-Quinteros S, Rothhammer F, Bedoya G, Balding D, Gonzalez-José R. 2014. Admixture in Latin America: geographic structure, phenotypic diversity and self-perception of ancestry based on 7,342 individuals. *PLoS Genet* 10:e1004572.
- Sackett DL. 1997. Evidence-based medicine. *Semin Perinatol* 21:3–5.
- Sackett DL, Rosenberg WMC, Gray JAM, Haynes RB, Richardson WS. 1996. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ* 312.
- Smock W, Besant-Matthews P. 2006. Forensic photography in the emergency department. In: Olshaker J, Jackson M, Smock W, Kresselring L, editors. *Forensic Emergency Medicine*. segunda. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Taylor B, Kuyatt C. 2009. Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. NIST Technical Note 1297-DIANE Publishing.
- Thornton JI. 1997. Visual Color Comparisons in Forensic Science. *Forensic Sci Rev* 9:37–57.
- Vaughn MR, van Oorschot RAH, Baidur-Hudson S. 2009. A comparison of hair colour measurement by digital image analysis with reflective spectrophotometry. *Forensic Sci Int* 183:97–101.
- Verhoff MA, Kettner M, Lászik A, Ramsthaler F. 2012. Digital photo documentation of forensically relevant injuries as part of the clinical first response protocol. *Dtsch Arztebl Int* 109:638–42.

# 20

## Introducción al Concepto y Cálculo del Error de Medición en Estudios Morfológicos

Lumila Paula Menéndez<sup>1</sup>

Palabras clave: error de medición, error intra- e inter-observador, error sistemático y aleatorio, coeficiente de correlación intraclase, ANOVA de medidas repetidas, Índice de Kappa, Prueba de McNemar.

### RESUMEN

En la presente contribución se introduce el concepto de error de medición (EM) y sus principales características durante el diseño de investigación y registro de variables para los consecuentes análisis. Se distinguen distintos tipos de EM teniendo en cuenta diversos aspectos: a) EM de tipo instrumental, metodológico y personal; b) se diferencia el EM de tipo sistemático -que se concentra en determinadas variables-, del aleatorio -que se distribuye al azar en los datos registrados-; y c) finalmente aquel que es producido por un operador (intra-observador) del que se produce cuando se combinan datos generados por múltiples operadores (inter-observador). Se discute con especial énfasis las circunstancias que rodean la generación de EM durante la definición, selección y registro de variables. Se presenta una serie de sugerencias para minimizar la magnitud de EM y se enseñan algunas pruebas estadísticas que pueden ser usadas para evaluarlo. Se concluye que todos los diseños de investigación que involucren el registro de variables morfológicas deben incluir análisis preliminares tendientes a evaluar el EM intra- e inter-observador, así como definiciones explícitas de las variables registradas y toma de decisiones. Asimismo, la reducción del EM inter-observador, se verá sustancialmente beneficiado cuando se avance en las acciones que promueven el acceso abierto de datos e imágenes.

### ABSTRACT

In this contribution we introduce the concept of measurement error (ME) and its main characteristics through the research design and registration of variables that will be used in the further analysis. Different kinds of ME are distinguished by considering diverse aspects: a) the instrumental, metho-

dological, and operator ME, b) the systematic, which is concentrated in particular variables, and the random error, which is distributed stochastically; and finally c) the ME that is produced by an operator (intra-observer error), from the one produced as a result of combining data generated by multiple operators (inter-observer error). The circumstances surrounding the generation of ME during the definition, selection and registration of variables is discussed with special emphasis. A series of suggestions to minimize the magnitude of ME are presented, as well as some statistical tests that can be used to evaluate it. Overall, all the research designs that involve the registration of morphological variables should include preliminary analysis aimed at evaluating intra- and inter-observer ME, as well as explicit definitions of the variables registered and details of the steps that were followed during the decision-making process. Likewise, the reduction of the inter-observer ME will be substantially benefited when progress is made in actions that promote open access to data and images.

## INTRODUCCIÓN

La antropología forense (AF) es considerada una ciencia interdisciplinaria que utiliza múltiples principios y métodos con el fin de contribuir en la resolución de problemas legales y, especialmente, en la denuncia e investigación de violaciones a los derechos humanos (Byers, 2016; Cohen Salama, 1992; Pacheco Revilla, 2016). Particularmente, durante la etapa de análisis e identificación de cadáveres esqueléticos, la AF recurre al uso de técnicas mayormente desarrolladas en el marco de la antropología biológica para estudiar la variación humana. Dicha variación es estudiada mediante la observación e inspección de rasgos anatómicos que resultan informativos acerca de múltiples aspectos de interés. Tales rasgos anatómicos pueden estudiarse mediante el registro de variables cualitativas o discretas, las cuales permiten clasificar la variación en categorías o estados; y/o cuantitativas o continuas, las cuales pueden tomar un número infinito de valores dentro de un intervalo numérico (Zar, 2010). Luego, los datos obtenidos son empleados en los sucesivos análisis estadísticos, los cuales cambiarán en función de los objetivos de la investigación.

Durante el registro de las observaciones, cualquiera sea el tipo de variables a relevar, se introducen múltiples fuentes de variación que incluyen no sólo la variabilidad intrínseca del objeto de estudio, sino aquella que es introducida por el grado de precisión que presentan los instrumentos empleados, las condiciones ambientales presentes en dicho momento, y la propia subjetividad del mismo observador u observadores involucrados en el registro de datos (Jamison y Ward, 1993; Utermohle, Zegura, y Heathcote, 1983). La variación restante, ha sido conceptualizada como error de medición (EM). En términos generales, el EM es ubicuo incluso dadas las mejores condiciones de trabajo (Uter-

mohle et al., 1983); es decir, si bien es difícil impedirlo, es posible minimizarlo o controlarlo. El mismo está dado por la suma de múltiples componentes: el error instrumental, el error metodológico y el error personal que es introducido por el operador (Rabinovich, 1995). El error instrumental está relacionado con la calidad de los instrumentos empleados, así como la exactitud y resolución que presenta el equipamiento (Robinson y Terhune, 2017). Por su parte, el error metodológico incluye todos los pasos que comprenden desde la preparación y posicionamiento del espécimen, la decisión de registrar estructuras por separado y luego combinarlas, imperfecciones que existen en los sistemas ópticos, y la distorsión digital al reproducir las imágenes capturadas para ser visualizadas en monitores (Arnqvist y Martensson, 1998).

Específicamente, el error personal, conocido como EM intra-observador, resulta de las circunstancias vinculadas al registro de variables por un operador. El mismo ha sido definido como la desviación que presenta una medida respecto de su valor real, o pragmáticamente como la diferencia existente entre medidas repetidas de una variable en un mismo objeto (Arnqvist y Martensson, 1998; Hair, Anderson, Tatham, y Black, 1999). El mismo puede estar influenciado por el grado de experiencia del operador, el entrenamiento recibido en el relevamiento de tales variables, la definición utilizada respecto de los rasgos a relevar, el grado de conservación que presenta el espécimen, el estado de ánimo del operador, entre otros factores (Bernal, Gonzalez, Perez, Del Papa, 2004; Pérez-Pérez, Alessan, Roca, 1990; Yezerinac, Loughheed, y Handford, 1992). Asimismo, en numerosos estudios se suelen combinar datos que han sido relevados por distintos operadores. Muchas veces dichos observadores acuerdan un protocolo previamente, mientras que otras veces se incorporan datos de investigaciones previas donde puede que no se

conozca con detalle el protocolo que fue usado para las mismas, o que éste difiera en algunos aspectos. En este caso, si bien el tipo de instrumento empleado para el registro de variables contribuye sustancialmente a la producción de EM, cobran especialmente mayor peso todas las decisiones subjetivas realizadas por los distintos operadores, empezando por la interpretación que cada uno de ellos tiene respecto de las definiciones de los puntos, medidas o variables a registrar (Gordon y Bradtmiller, 1992; Utermohle y Zegura, 1982). En este contexto, el error inter-observador constituye el EM que resulta de la magnitud de discrepancia que exista entre dos o más observadores para registrar medidas o puntos equivalentes en un objeto.

Resulta fundamental el reconocimiento y cálculo del EM en cualquier trabajo científico; no sólo porque refuerza la fiabilidad de los datos, sino porque permite luego sostener con mayor confianza la significación biológica e interpretación de los resultados (Bookstein, 2018; Corner, Lele, y Richtsmeier, 1992; Utermohle y Zegura, 1982). El EM es particularmente problemático cuando la magnitud de variación biológica de una muestra es pequeña, tales como los estudios intraespecíficos donde se estudian poblaciones o individuos de una misma especie (Robinson y Terhune, 2017); y también, cuando se analizan variables que denotan caracteres que son especialmente de pequeño tamaño o que presentan una definición con cierto grado de vaguedad (Yezerinac et al., 1992). Si bien algunos errores, como el producido durante la preparación del espécimen para el registro de datos y montaje del instrumental, pueden minimizarse mediante la utilización de datos computarizados, el EM que ha resultado ser mayormente problemático es el ejercicio inconsistente del protocolo de registro. Por este último, se entiende la imprecisión en la localización de puntos y/o medidas, la posición del operador durante el registro y la aplicación correcta del instrumento durante el registro de datos (Gordon y Bradtmiller, 1992).

Por lo tanto, dado que no toda la variación que es registrada durante las mediciones, suele ser de interés para los fines de la mayoría de los estudios, siendo usualmente el foco principal la variabilidad propia del objeto, desde hace algunas décadas se han propuesto distintas maneras de sistematizar y calcular el EM, y así poder reportarlo junto con los resultados principales de la investigación (Dang, Moreau, Hill, Mahod, y Raso, 2005; Kouchi, Mochimaru,

Tsuzuki, y Yokoi, 1999; Shrout y Fleiss, 1979; Voracek, Manning, y Dressler, 2006). Junto con protocolos y diseños de trabajo, se han sugerido una serie de pruebas estadísticas con el fin de estimar y controlar la variación que es introducida por el o los observadores. Actualmente, gran parte de los investigadores que emplean variables morfológicas en sus estudios, suelen realizar análisis preliminares con el fin de calcular el grado de error intra- y/o inter-observador y así contar con mayor grado de confianza al momento de reportar sus resultados.

En el presente capítulo se introducen las principales características que presenta el EM, junto con otros conceptos que deben tenerse presentes al momento de registrar datos morfológicos. Complementariamente, se mencionan brevemente las alternativas que existen actualmente para la obtención de datos en antropología biológica, con especial énfasis en el cálculo del EM, generado durante la selección de variables y registro de datos. A continuación, se presentan una serie de recomendaciones para minimizar la magnitud del EM, desde la definición de variables hasta su registro y análisis. Finalmente, se sugieren lineamientos generales para su cálculo, considerando los distintos tipos de datos y se anticipan posibles mejoras tendientes a minimizar la magnitud del EM en el marco del acceso abierto, no comercial, a bases de datos, imágenes y publicaciones científicas.

## EL EM DURANTE LA SELECCIÓN Y REGISTRO DE DATOS ANATÓMICOS

### TIPO DE VARIABLES EN LOS ESTUDIOS MORFOLÓGICOS

La variación biológica del esqueleto humano puede ser estudiada a partir de la observación de diversos aspectos morfológicos (González-José y Madrigal Díaz, 2016; Valls, 1980). Como se ha mencionado, en antropología biológica, determinados rasgos morfológicos que son biológicamente informativos pueden ser estudiados mediante el registro de variables discretas y continuas (Zar, 2010). Los datos morfológicos o morfométricos (ver distinción más abajo), constituyen el conjunto de datos resultantes que han sido registrados para describir la variación biológica a partir de cierto conjunto de variables. Las variables morfológicas discretas consisten en

rasgos bivariados, es decir que presentan dos estados (presencia/ausencia), aunque algunas veces pueden describirse sus condiciones (i.e. grado de expresión), en cada individuo de una población (e.g. diente incisivo en pala, huesos supernumerarios). Son relevantes porque presentan un fuerte componente genético en su expresión fenotípica (Berry y Berry, 1967; Ossenberg, 1976, entre otros), por lo que su frecuencia de aparición permite diferenciar determinadas poblaciones entre sí. Por otro lado, las variables morfológicas continuas o variables morfométricas consisten en configuraciones de puntos o medidas lineales, calculadas a partir de la distancia entre puntos anatómicos definidos sobre el individuo (e.g. longitud del fémur, capacidad craneana, tamaño del músculo masetero). Ambos tipos de variables pueden ser registradas de manera directa sobre el espécimen o de manera indirecta sobre imágenes de buena resolución que representan al espécimen y fueron adquiridas previamente. En definitiva, las variables morfológicas pueden ser registradas en un plano espacial, obteniendo datos en dos dimensiones (2D) o en el espacio tridimensional que permite generar datos en 3D del sistema de coordenadas cartesianas. Es conveniente registrar sólo los puntos y medidas necesarios a los fines de la investigación, ya que la magnitud del EM se incrementa con el número de variables registradas (Arnqvist y Martensson, 1998). Asimismo, el número de pasos y decisiones debe ser el mínimo para lograr reducir la magnitud del EM (Arnqvist y Martensson, 1998).

## OBTENCIÓN DIRECTA E INDIRECTA DE DATOS MORFOMÉTRICOS

El registro directo de puntos anatómicos y medidas lineales puede realizarse mediante el uso de calibres deslizantes, de ramas curvas, tablas osteométricas, y brazos digitalizadores como el Microscribe. Esto permite guardar el dato anatómico de manera inmediata sobre una planilla de datos, permitiendo que pueda ser usado en los posteriores análisis. Por otro lado, los métodos indirectos suponen que las imágenes hayan sido previamente obtenidas con el uso de equipamientos específicos (fotografías, escáneres de superficie, tomografías computadas, entre otros). Luego, dichas imágenes se pueden visualizar mediante diversos *softwares*, que permiten registrar puntos y/o medidas de manera indirecta, algunos de ellos son tpsDIG (Rohlf, 2004), Morpheus (Slice, 2013), Meshlab (Cignoni et al., 2008),

Aviso (Visualization Sciences Group, Bordeaux, France), EVAN Toolbox (<http://evan-society.org>), el paquete Geomorph para el ambiente de estadística computacional R (Adams, Collyer, y Kaliontzopoulou, 2018), entre otros. En definitiva, cualquiera sea el equipo utilizado, durante el proceso de selección y registro de variables, existen múltiples decisiones que son tomadas desde la selección de los puntos o medidas a registrar hasta la elección del equipamiento que será utilizado. Esta cadena operativa que caracteriza al diseño de la investigación impactará posteriormente en la magnitud del EM generado (Arnqvist y Martensson, 1998). De igual manera que con la selección de variables, la decisión respecto al uso de determinados equipamientos en los análisis debe ser tomada con cautela. Muchas veces las razones por las que se recurre al uso de determinados equipos se deben a disponibilidad física o factibilidad económica, ya sea que los mismos se encuentran previamente disponibles en el departamento o instituto, se comprarán nuevos de acuerdo con el financiamiento que se dispone, o incluso se usa determinado equipo debido a la existencia de acuerdos previos donde se provee el uso de determinado equipamiento. Muchas veces existe la opción de poder elegir el uso de cierto equipamiento que resulte más adecuado para los fines del estudio en sí (e.g. tomografías computarizadas para acceder al estudio de estructuras internas como el endocráneo). En la última década ha habido un auge en el uso de equipamientos que permiten capturar imágenes de mediana a excelente calidad (i.e. fotografía, tomografías computarizadas, escáneres de superficie). Son múltiples las razones por las cuales actualmente los investigadores se inclinan al uso de estas técnicas de captura de imagen, entre las que pueden mencionarse: la alternativa de poder repetir las mediciones en cualquier momento, la preservación digital del espécimen que brinda la capacidad de reutilización de esas imágenes en otros proyectos futuros, y fundamentalmente las potencialidades que brinda la visualización de los cambios en forma y el acceso a estructuras que de otra manera no podría realizarse (e.g. endocráneo). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que existe una relación proporcional entre la cantidad de pasos involucrados en la obtención de datos y la magnitud de EM que se genera (Arnqvist y Martensson, 1998). Asimismo, algunos equipamientos como los escáneres de superficie requieren que el operador se vea envuelto en una gran cadena de toma de decisiones

que pueden oscurecer o distorsionar el modelo resultante; y por ende, el registro e interpretación de los datos morfológicos (Sholts, Wärmländer, Flores, Miller, y Walker, 2010).

## GENERACIÓN DE EM SISTEMÁTICO Y ALEATORIO EN ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA

El EM intra-observador puede ser descompuesto en sistemático y aleatorio (Rabinovich, 1995). El primero se produce cuando las mediciones realizadas en distintas ocasiones varían entre sí como producto de sesgos metodológicos en la magnitud de los valores estimados (Arnqvist y Martensson, 1998). Es decir, puntos que fueron localizados en determinada posición en un grupo de especímenes, durante una segunda ronda de medición, son colocados en una posición diferente. Por ende, el EM se distribuye aproximadamente de manera constante en determinadas variables que por alguna razón resultan ser más problemáticas o complejas que otras. Esta situación incrementa la probabilidad de que el error estadístico de tipo I sea producido en relación a la magnitud de los parámetros estimados (i.e. rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera; Bernal et al., 2004). Esto es equivalente a encontrar un resultado falso positivo, que lleva a concluir la existencia de diferencias entre las muestras o grupos estudiados, cuando en realidad no la hay. Por otro lado, el error aleatorio es el que se distribuye estocásticamente, incrementando la varianza de un conjunto de observaciones sin afectar la media o promedio de estas. Concomitantemente, se producen desviaciones del supuesto de normalidad en los datos, reduciéndose el poder estadístico de los análisis. Estas circunstancias incrementan la probabilidad de incurrir en el error estadístico tipo II (i.e. no rechazar la hipótesis nula cuando es falsa; Bernal et al., 2004), aumentando la probabilidad de obtener un resultado falso negativo, es decir, de no encontrar diferencias entre especímenes o grupos cuando sí las hay, es decir oscureciendo la diferenciación muestral o grupal (Weinberg, Scott, Neiswanger, y Marazita, 2005). A pesar del gran empeño realizado por muchos antropólogos biólogos para consensuar definiciones de puntos y medidas (Bui-kstra y Ubelaker, 1994; Howells, 1969; Martin y Saller, 1954; entre otros), la mayor parte del EM que se produce en estudios de antropología biológica es de tipo sistemático (Jamison y Ze-

gura, 1974; Molto, 1979). Esto se debe a que la baja precisión que presenta el registro de las variables se encuentra correlacionada con su ambigüedad o flexibilidad morfológica, de manera que pequeños errores pueden causar grandes y devastadores efectos en los resultados (Gordon y Bradtmiller, 1992; Yezerinac et al., 1992). Existen algunas variables que presentan mayor ambigüedad y complejidad que otras, por ejemplo, cuando se registran datos en 3D, los puntos denominados tipo III (i.e. puntos localizados a lo largo de un contorno o superficie; *sensu* Bookstein, 1991) contienen tanto información que es biológicamente relevante, la cual se encuentra en el plano que es paralelo a la definición del rasgo, como también un fuerte componente de variación aleatoria (Barbeito-Andrés, Anzelmo, Ventrice, y Sardi, 2012; Menéndez, 2017; Ross y Williams, 2008). Incluso se ha afirmado que los puntos de tipo II, entendidos como puntos anatómicos cuya supuesta homología de un espécimen a otro es respaldada únicamente por la geometría y no por evidencia anatómica (e.g. glabella, eurion; Bookstein, 1991) son también problemáticos y están asociados a magnitudes altas de EM (Algee-Hewitt y Wheat, 2015). Adicionalmente, cuando se registran medidas lineales a partir de dos puntos, las distancias más cortas o caracteres más pequeños suelen tener mayor EM que las que son más largas (Kouchi et al., 1999; Ross y Williams, 2008; Yezerinac et al., 1992). También el EM aumenta cuando el rasgo a relevar no presenta un amplio rango de variación fenotípica en su expresión (Arnqvist y Martensson, 1998; Yezerinac et al., 1992). Mención aparte reciben los rasgos discretos, para los cuales, tanto las circunstancias que rodean a su definición, como la falta de estandarización en los procedimientos de registro, los torna más proclives al aumento del EM (Gonzalez et al., 2004; Molto, 1979). Finalmente, la aplicación de diseños experimentales basados en estadística univariada (1 ó 2 variables) suele ser menos sensibles al EM que las comparaciones estadísticas multivariadas (i.e. más de 3 variables; Jamison y Zegura 1974).



## RECOMENDACIONES GENERALES PARA MINIMIZAR LA MAGNITUD DEL EM

La confiabilidad de los análisis debe ser garantizada mediante un registro de datos fidedigno; en este contexto, la reducción del EM se encuentra supeditada a las características que presenta el diseño de la investigación en sí. Existen especialmente dos conceptos que resultan relevantes y por ende, deben tenerse presentes: exactitud y precisión. Mientras que la exactitud refiere a la cercanía de una medida al valor real, o más bien, la extensión en la cual el valor verdadero es alcanzado (Jamison y Zegura, 1974; Pérez-Pérez et al., 1990; Uliaszek y Kehr, 1999); la precisión es entendida como la diferencia absoluta que presenta una serie de medidas repetidas del mismo espécimen (Corner et al., 1992; Jamison y Zegura, 1974; Yezerinac et al., 1992). De igual manera, la inexactitud e imprecisión aumenta la magnitud del EM, y esto puede ser evitado tomando múltiples recaudos. A continuación, se presenta una serie de sugerencias a los fines de minimizar el impacto del EM durante la realización de estudios morfológicos.

1. Establecer diseños experimentales que tengan precisión y consistencia, y que permitan evaluar las distintas fuentes de variación, junto con análisis estadísticos que permitan distinguir el error sistemático del aleatorio (Bernal et al., 2004; Perez et al., 2004; Menéndez, 2017). Este aspecto resulta fundamental debido a que el EM no es inusual, y las variaciones que introduce el EM en los datos generan problemas cuando se hacen inferencias estadísticas que pueden llevar a desviaciones en la normalidad de los datos (Arnqvist y Martensson, 1998; Gordon y Bradtmiller, 1992).
2. Reducir la cantidad de pasos para el registro de datos, ya que la cantidad de error en los datos se incrementa a medida que lo hace el número de pasos metodológicos involucrados (Arnqvist y Martensson, 1998; Sholts, et al., 2010).
3. Usar definiciones de medidas y puntos anatómicos que resulten lo más específicas posible. En caso de que las medidas o puntos a registrar presenten cierto grado de ambigüedad, se recomienda tomarlos repetidas veces (Arnqvist y Martensson, 1998; Corner et al., 1992; Pérez-Pérez et al., 1990; Yezerinac et al., 1992). Dichas medidas repetidas informan de distintos componentes del dato: su reproducibilidad, es decir la cercanía de resultados obtenidos en distintas condiciones con distintos métodos y equipamiento; y su repetitividad, lo cual refleja la cercanía de los resultados obtenidos bajo condiciones similares, es decir con el uso de los mismos métodos y equipamiento (Corner et al., 1992; Uliaszek y Kehr, 1999). A continuación, se puede calcular la media o promedio del conjunto de medidas repetidas, además de cuantificar el EM (Arnqvist y Martensson, 1998). La utilización del valor promedio es recomendada ya que reduce el desvío estándar en los datos resultantes, y por ende aumenta la precisión de la medida en sí (Corner et al., 1992; Pérez-Pérez et al., 1990).
4. Comprender exhaustivamente la definición, concepto, y localización de las variables que serán registradas. Resulta un aspecto relevante, ya que la principal fuente de EM reside en la localización inconsistente de puntos y medidas (Osenberg, 1976). El mismo se transfiere secundariamente a través de los subsiguientes análisis geométricos y estadísticos que resultan en que el EM se distribuya aleatoria o sistemáticamente en los datos resultantes (Arnqvist y Martensson, 1998). Este punto se encuentra vinculado con el nivel de experiencia que presenta el operador, de manera que el grado de experiencia se encuentra inversamente relacionado con la magnitud del EM esperado (Gordon y Bradtmiller, 1992). Cabe mencionar que para datos registrados en 3D, von Cramon-Taubadel, Frazier, y Mirazón Lahr (2007), sugieren un método de superposición parcial donde se usan 3 puntos de referencia en el espécimen que serán superpuestos durante las repeticiones. A continuación, se estima el error residual de los puntos que no son de referencia, removiendo los efectos de rotación de los puntos de referencia. Este método es eficiente para reducir el error instrumental que se genera al girar el espécimen y registrar puntos en distintas normas o vistas. Alternativamente, algunos autores sugieren realizar un examen previo donde se identifique visualmente los puntos y

medidas a registrar, de esta manera el EM se reduce sustancialmente (Fourie, Damstra, Gerrits, y Ren, 2011; Sholts, Flores, Walker, y Wärmänder, 2011).

5. Estandarizar los métodos de preparación, presentación, y digitalización de los especímenes. Tanto la posición del operador que va a proceder con el registro de variables, como del objeto a ser estudiado, deben mantenerse constantes para reducir la magnitud del EM resultante (Arnqvist y Martensson, 1998; Gordon y Bradtmiller, 1992; Yezerinac et al., 1992).
6. Garantizar condiciones ambientales que no interfieran en la generación ni registro de datos. Además de mantener las condiciones ambientales constantes en la medida de lo posible, es recomendable contar con la luz apropiada, así como trabajar en sitios donde la proporción de humedad se encuentre minimizada y se mantenga constante. Se ha demostrado experimentalmente que la variación en la proporción de humedad ambiental causa la expansión del hueso, lo que resulta en el incremento de sus dimensiones (Albrecht, 1983).
7. Optimizar la selección de especímenes mediante la inclusión de aquellos que se encuentren en buenas condiciones de conservación. El grado de preservación e integridad que presenta el espécimen ejerce una gran influencia en la colecta de datos, ya que, si un área del hueso presenta, por ejemplo, las suturas poco marcadas, orificios como producto de la acción de factores post-depositacionales, fracturas a modo de escamas o ligeramente sobresaliendo o modificando la forma de la estructura, las condiciones de registro de puntos y medidas se verán seriamente afectadas (Pérez-Pérez et al., 1990; Robinson y Terhune, 2017). Sin embargo, dado que muchas veces resulta fundamental trabajar con cierto espécimen que presenta dichas características, se debe en estos casos mantener especial cautela durante el registro de datos.
8. Utilizar equipamientos adecuados cuyos fabricantes y usuarios reporten un pequeño error instrumental. Se debe evitar el uso de instrumentos que son más propensos al error instrumental, además de utilizar siempre equipos que se encuentren calibrados, ya que la cantidad de distorsión de los datos muchas veces depende de la calidad de los instrumentos y equipos (Arnqvist y Martensson, 1998; Robinson y Terhune, 2017; Yezerinac et al., 1992). Asimismo, se debe indagar y dejar sentado en las publicaciones cuál es la magnitud de error que el instrumento presenta (e.g. los fabricantes de *Immersion Corporation*® (EE. UU.) afirman que el brazo mecánico digitalizador *Microscribe G2X* presenta una precisión de 0.05 milímetros).
9. Evitar la reducción de dimensionalidad en estructuras que son 3D a 2D. La falta de ortogonalidad perfecta entre los ejes principales del espécimen y la de la dimensión que es reducida conduce al aumento del EM como producto de la distorsión de los ejes (Arnqvist y Martensson, 1998). Aparentemente, esto podría ser remediado mediante el registro de datos en 3D (Corner et al., 1992).
10. Registrar preferentemente las variables de forma directa sobre el espécimen. Particularmente, se sugiere prescindir del registro indirecto de puntos y medidas, en la medida de lo posible. Esto se debe a que cuando se registran datos a partir de imágenes se genera una distorsión óptica debido a las características de la cámara o del equipo utilizado, así como también una distorsión digital cuando el espécimen es capturado y transformado en forma virtual (Arnqvist y Martensson, 1998; Williams y Richtsmeier, 2003).
11. Minimizar el intervalo temporal en la recogida de datos. El EM aumenta junto con el intervalo temporal que transcurre al registrar datos de distintos especímenes (Molto, 1979). Por tanto, si la intención es registrar variables en un gran conjunto de individuos, que se encuentran depositados en distintos repositorios, es preferible que el intervalo en la recogida de datos sea el menor posible. De esta manera se evita introducir sesgos vinculados con los cambios en los criterios del operador para el registro de determinadas variables.
12. Usar un conjunto de datos reducidos puede contribuir en la disminución del EM (Arnqvist y Martensson, 1998). Si bien el número de variables e individuos estará relacionado con los objetivos del estudio, debe tenerse en cuenta que, a los fines de

reducir el EM, es preferible aumentar el número de individuos, en lugar del número de variables (Arnqvist y Martensson, 1998). Alternativamente, se puede recurrir a eliminar de los análisis aquellas variables que resulten problemáticas (i.e. presenten un desvío estándar considerable en comparación con otras; Bailey y Byrnes, 1990; Perez et al., 2004; Ross y Williams, 2008).

13. No evaluar el EM luego de haber corrido un análisis de componentes principales, ni un ajuste de las coordenadas Procrustes para datos en 3D (von Cramon-Taubadel et al., 2007). La configuración que resulta de estos análisis no permite evaluar la precisión de los puntos o medidas de manera individual. Los resultados se encontrarán sesgados debido a que el algoritmo utilizado distribuye el EM de forma aleatoria, minimizando el error general mediante la reducción de la variación residual en los puntos de mayor precisión, y aumentando la variación en los puntos que son fuertemente precisos. Al resultado de este proceso se lo conoce como efecto pinocho (von Cramon-Taubadel et al., 2007).
14. Eludir el uso de bases de datos que han sido registradas por distintos operadores (Perez et al., 2004; Robinson y Terhune, 2017; Slice, Unteregger, Schaefer, y Bookstein, 2004). Preferentemente el conjunto completo de datos debe haber sido generado por el mismo operador. En caso de que esto no resulte posible, y deban indefectiblemente combinarse distintas bases de datos, resulta beneficioso seguir ciertos recaudos: a) se acuerden definiciones de puntos y medidas, así como protocolos de registro para minimizar el EM inter-observador, y a continuación, b) se realicen pruebas tendientes a evaluar la magnitud de EM inter-observador. Se espera que los datos puedan combinarse cuando el EM entre los observadores sea mínimo y estadísticamente no significativo. Por otro lado, en el caso de que resulte difícil que dos observadores acuerden o pongan a prueba sus diferencias en el registro de mediciones o puntos, por ejemplo, cuando se quiere reutilizar una base de datos que fue generada anteriormente, el observador que tomará los datos en segundo lugar debería seguir los mismos

criterios que el observador que ha tomado los datos en primer lugar, para que estos resulten compatibles entre sí.

## LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL CÁLCULO DEL EM

Existen una gran cantidad de pruebas que han sido sugeridas y/o utilizadas que permiten calcular y evaluar la magnitud de EM. La selección de la prueba utilizada va a estar relacionada con el tipo de variables registradas, y las particularidades del diseño de la investigación. Respecto a esto último, el interés de la comparación puede residir en diversos aspectos que serán enfatizados mediante la aplicación de distintos análisis: 1) consistencia general que presenta determinado operador durante el registro de sus datos, 2) cuáles son los puntos o medidas que presentan mayor EM. Ambas situaciones pueden evaluarse midiendo un mismo espécimen o un mismo conjunto de especímenes, al menos en 2 circunstancias separadas por determinado lapso temporal (e.g. 1 semana), y comparando los valores obtenidos cada vez. En el primer caso, la exactitud absoluta y precisión pueden evaluarse mediante el cálculo de la distancia promedio a la media o mediante medidas de dispersión como el desvío estándar entre series de medidas repetidas. Sin embargo, cuando se espera que la variación producto del EM sea mínima, es preferible calcular medidas relativas del EM, y esto puede hacerse mediante múltiples pruebas que han sido reportadas previamente (Arnqvist y Martensson, 1998).

Las distintas series de mediciones pueden compararse utilizando múltiples pruebas estadísticas según las variables sean de tipo continuo o discreto, pero en ambos casos el EM puede descomponerse en sistemático y aleatorio para evaluar ambos independientemente. Cuando las variables registradas son de tipo continuo, el EM sistemático puede evaluarse mediante una prueba de análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas, y el EM aleatorio mediante el cálculo del Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI). El ANOVA de medidas repetidas es una técnica que se usa para evaluar el grado de igualdad entre las medias de distintas series, cuando los datos violan el supuesto de independencia, tal como es el caso de distintas series de datos generados mediante el registro de las mismas variables en uno o un conjunto de individuos. Mediante el mismo, la hipótesis nula asume que no

existen diferencias entre las medias de las series. Se obtiene un valor de  $F$ , y uno de significación ( $p$ ), en función de los cuales la hipótesis nula se acepta o rechaza. Por otro lado, el CCI es un buen estimador de confiabilidad y repetitividad, que está basado en la comparación de los componentes de la varianza y medidas de homogeneidad dentro de los grupos, y la varianza entre grupos. El estadístico obtenido toma valores que varían entre  $-1$  y  $+1$ , de manera que  $+1$  representa una excelente confianza entre las series, entre  $+0.40$  a  $+0.70$  una buena confianza, y  $0$  o valores cercanos a  $0$ , una confianza pobre o débil.

Por otro lado, cuando las variables registradas son discretas, la magnitud de EM sistemático puede ser evaluado mediante la Prueba de McNemar (McNemar, 1947), mientras que la de EM aleatorio mediante el Índice de Kappa ( $k$ ) (Cohen, 1960). El Índice de Kappa permite evaluar si el grado de acuerdo entre las series es mayor que el esperado por azar. El mismo toma valores que varían entre  $-1$  y  $+1$ , de manera que  $+1$  representa una perfecta concordancia entre las series,  $0$  una concordancia como producto del azar, y  $-1$  un menor acuerdo que el esperado por azar. La Prueba de McNemar permite analizar la homogeneidad marginal (i.e. las proporciones de desacuerdo) y así detectar EM sistemáticos en el registro de las variables (Bernal et al., 2004; Gonzalez et al., 2004).

Para evaluar el EM inter-observador pueden de igual manera aplicarse las pruebas ANOVA de medidas repetidas, Índice Kappa, ICC, dependiendo del tipo de variables registradas.

## CONSIDERACIONES FINALES

En todos los diseños de investigación donde se generan datos morfológicos, se debe reflexionar acerca de cuál es el equipamiento que resulta más adecuado, en términos no sólo de financiamiento e inversión temporal, sino también precisión y exactitud en la generación de datos para dicho estudio. Asimismo, se deberían incluir análisis previos donde se evalúe la magnitud del EM, especialmente si son muchos los observadores que contribuyen con sus bases de datos, originadas independientemente. Es decir, además de incluir un protocolo de cálculo de EM intra-observador, se debe ser cauteloso cuando se compilan datos generados por múltiples operadores, más aún, si los mismos fueron obtenidos utilizando distinto tipo de equipamiento. Sin embargo, la extensión en la que los investigadores deben preocuparse

por la magnitud de EM es inversamente proporcional al nivel de variación que presenta la muestra a ser estudiada. Esto último resulta un aspecto fundamental en la AF, donde se trabaja con individuos de una misma especie, muchas veces pertenecientes a una misma o unas pocas poblaciones locales, lo cual reduce considerablemente el espectro de variación morfológica, y las diferencias morfológicas entre los especímenes analizados son de pequeña magnitud.

En relación con la reutilización de bases de datos o imágenes capturadas por otros investigadores, la magnitud del EM debería verse reducida en el futuro, en función de un incremento de investigaciones reportando sus resultados de cálculo del EM, así como protocolos más detallados de registro y definición de las variables estudiadas. En este contexto, resulta un requisito primordial la explicitación de protocolos para el registro de variables, así como para la combinación de múltiples bases de datos.

Finalmente, se espera que las condiciones de repetitividad, y por ende, fiabilidad de resultados e interpretaciones de los estudios publicados se vean mejoradas con la difusión e implementación efectiva de prácticas de acceso abierto no comercial a bases de datos, imágenes y publicaciones científicas. Según las mismas, tanto las bases de datos, como las imágenes generadas con financiamiento de fondos públicos deben depositarse en repositorios *online*, permitiendo así, no sólo la reproducción de los análisis por parte de otros investigadores, sino la reutilización de los datos. De esta manera se puede avanzar en la compensación respecto al acceso desigual que existe en la adquisición a equipamientos, y también acceso al estudio de determinados especímenes o colecciones, que algunas veces ya no se encuentran disponibles. Complementariamente, estos repositorios *online* contribuirán a reducir la manipulación física de los especímenes (y su consecuente deterioro), optimizando la preservación de las colecciones óseas.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Mirsha Quinto Sánchez y a Jorge Valdés por invitarme a escribir el presente capítulo para este libro, que espero resulte de enorme utilidad. Asimismo, aprovecho para dar las gracias a Ivan Perez, por introducirme críticamente en este y otros aspectos metodológicos de la investigación científica. Todo el contenido

expresado en el manuscrito es de mi absoluta responsabilidad.

## REFERENCIAS CITADAS

- Adams, D. C., M. L. Collyer, & A. Kaliontzopoulou. (2018). *Geomorph: Software for geometric morphometric analyses*. R package version 3.0.6.
- Albrecht, G.H. (1983). Humidity as a source of measurement error in osteometrics. *American Journal of Physical Anthropology*, 60(4), 517-521.
- Algee-Hewitt, B.F.B., & Wheat. A.D. (2016). Brief Communication: the reality of virtual anthropology: comparing digitizer and laser scan data collection methods for the quantitative assessment of the cranium. *American Journal of Physical Anthropology*, 160(1), 148-55.
- Arnqvist, G., & Martensson, T. (1988). Measurement error in geometric morphometrics: empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 44(1-2), 73-96.
- Bailey, R.C., & Byrnes. (1990). A New, Old Method for Assessing Measurement Error in Both Univariate and Multivariate Morphometric Studies. *Systematic Biology*, 39(2), 124-130.
- Barbeito-Andrés, J., Anzelmo, M., Ventrice, F., & Sardi, M. (2012). Measurement error of 3D cranial landmarks of an ontogenetic sample using computed tomography. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 2(2), 77-82.
- Bernal, V., Gonzalez, P.N., Perez, S.I., & Del Papa, M. (2004). Evaluación del error intraobservador en bioarqueología. *Intersecciones en Antropología*, 5, 129-40.
- Berry, A.C., & Berry, R.J. (1967). Epigenetic variation in the human cranium. *Journal of Anatomy*, 101, 361-379.
- Bookstein, F.L. (1991). *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Bookstein, F.L. (2018). *A course in Morphometrics for Biologists*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Buikstra, J.E., & Ubelaker, D.H. (1994). *Standards for data collection from human skeletal remains*. Arkansas Archeological Survey Research Series 44. Fayetteville: Arkansas Archeological Survey.
- Byers, S.N. (2016). *Introduction to Forensic Anthropology*. Nueva York: Routledge.
- Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., Ranzuglia, & G. (2008). MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool. *Sixth Eurographics Italian Chapter Conference* (pp. 129-136).
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational Psychology Measurement*, 20, 37-46.
- Cohen Salama, M. (1992). *Tumbas anónimas: Informe sobre la identificación de restos de víctimas de la represión ilegal*. Equipo Argentino de Antropología Forense. Buenos aires: Catálogos Editora.
- von Cramon-Taubadel, N., Frazier, B.C., & Mirazón Lahr, M. (2007). The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology*, 134, 24-35.
- Corner, B.D., Lele, S., & Richtsmeier, R.T. (1992). Measuring precision of three-dimensional landmark data. *Journal of Quantitative Anthropology*, 3, 347-59.
- Dang, N.R., Moreau, M.J., Hill, D.L., Mahod, J.K., & Raso, J. (2005). Intra-observer Reproducibility and Interobserver Reliability of the Radiographic Parameters in the Spinal Deformity Study Group's AIS Radiographic Measurement Manual. *SPINE*, 30(9), 1064-1069.
- Fourie, Z., Damstra, J., Gerrits, P. O., & Ren, Y. (2011). Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. *Forensic Science International*, 207, 127-134.
- Gonzalez, P.N., Bernal, V., Perez, S.I., Del Papa, M., Gordon, F., & Ghidini, G. (2004). El error de observación y su influencia en los análisis morfológicos de restos óseos humanos. Datos de variación discreta. *Revista Argentina*

- de *Antropología Biológica*, 6 (1), 35-46.
- Gonzalez-José, R., & Madrigal Díaz, L. (2016). La antropología biológica. En: Madrigal Díaz, L., & González-José, R. (Eds.), *Introducción a la Antropología Biológica* (pp. 5-7). Asociación Latinoamericana de Antropología Biológica.
- Gordon, C.C., & Bradtmiller, B. (1992). Intraobserver error in a large-scale anthropometric survey. *American Journal of Human Biology*, 4, 253-263.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., & Black, W.C. (1999). *Análisis multivariante*. Madrid, Spain: Prentice-Hall.
- Howells, W.W. (1969). Criteria for selection of osteometric dimensions. *American Journal of Physical Anthropology*, 30(3), 451-457.
- Jamison, P.L., & Ward, R.E. (1993). Brief Communication: Measurement Size, Precision, and Reliability in Craniofacial Anthropometry: Bigger is Better. *American Journal of Physical Anthropology*, 90, 495-500.
- Jamison, P.L., & Zegura, S.L. (1974). A univariate and multivariate examination of measurement error in anthropometry. *American Journal of Physical Anthropology*, 40, 197-204.
- Kouchi, M., Mochimaru, M., Tsuzuki, K., & Yokoi, T. (1999). Interobserver errors in anthropometry. *Journal of Human Ergology*, 28, 15-24.
- Martin, R., & Saller, K. (1957). *Lehrbuch der anthropologie*. Stuttgart: Fisher.
- McNemar, Q. (1947). Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. *Psychometrika*, 12, 153-157.
- Menéndez, L.P. (2017). Comparing Methods to Assess Intraobserver Measurement Error of 3D Craniofacial Landmarks Using Geometric Morphometrics Through a Digitizer Arm. *Journal of Forensic Science*, 62(3), 741-746.
- Molto, J.E. (1979). The assessment and meaning of Intraobserver Error in Population Studies Based on Discontinuous Cranial Traits. *American Journal of Physical Anthropology*, 51, 333-344.
- Ossenberg, N. (1976). Within and between race distances in population studies based on discrete traits of the human skull. *American Journal of Physical Anthropology*, 45, 701-716.
- Pacheco Revilla, G. (2016). Antropología Forense: métodos, aplicaciones y derechos humanos en América Latina. En: Madrigal Díaz, L., & González-José, R. (Eds.), *Introducción a la Antropología Biológica* (pp. 237-260). Asociación Latinoamericana de Antropología Biológica.
- Perez, S.I., Gonzalez, P.N., Bernal, V., Del Papa, M., Barreiro, A., Negro, C., & Martínez, L. (2004). El error de observación y su influencia en los análisis morfológicos de restos óseos humanos. Datos de variación continua. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 6(1), 61-75.
- Pérez-Pérez, A., Alessan, A., & Roca, L. (1990). Measurement error: inter- and intraobserver variability. An empiric study. *International Journal of Anthropology*, 5(2), 129-135.
- Robinson, C., & Terhune, C.E. (2017). Error in geometric morphometric data collection: Combining data from multiple sources. *American Journal of Physical Anthropology*, 164(1), 62-75.
- Rohlf, F. J. (2004). *tpsDig, digitize landmarks and outlines, version 2.0*. State University of New York at Stony Brook: Department of Ecology and Evolution.
- Ross, A.H., & Williams, S. (2008). Testing repeatability and error of coordinate landmark data acquired from crania. *Journal of Forensic Sciences*, 53 (4), 782-785.
- Sholts, S.B., Wärmländer, S.K.T.S., Flores, L.M., Miller, K.W.P., & Walker, P. (2010). Variation in the measurement of cranial volume and surface area using 3D laser scanning technology. *Journal of Forensic Sciences*, 55 (4), 871-876.
- Sholts, S. B., Flores, L., Walker, P. L., & Wärmländer, S. K. T. S. (2011). Comparison of coordinate measurement precision of different landmark types on human crania using a 3D laser scanner and a 3D digitiser: Implications for applications of digital morphometrics. *International Journal of Osteoarchaeology*, 21, 535-543.
- Slice, D.E. (2013). *Morpheus et al., Java Edition*. Tallahassee, Florida, U.S.A.: Department of Scientific Computing,

The Florida State University.

- Slice, D.E., Unteregger, C., Schaefer, K., & Bookstein, F.L. (2004). Modeling the precision of landmark location data. Abstract from the AAPA meeting (pp. 183).
- Ulijaszek, S.J., & Kehr, D.A. (1999). Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status. *British Journal of Nutrition*, 82, 165–177.
- Utermohle, C.J., & Zegura, S.L. (1982). Intra- and interobserver error in craniometry: a cautionary tale. *American Journal Physical Anthropology*, 57, 303–10.
- Utermohle, C.J., Zegura, S.L., & Heathcote, G.M. (1983). Multiple observers, humidity, and choice of precisión statistics: factors influencing craniometric data quality. *American Journal Physical Anthropology*, 61, 85-95.
- Valls, A. (1980). *Introducción a la Antropología Biológica*. Barcelona: Editorial Labor Universitaria.
- Voracek, M., Manning, J.T., & Dressler, S.G. (2006). Repeatability and Interobserver Error of Digit Ratio (2D:4D). Measurements Made by Experts. *American Journal of Human Biology*, 19, 142-146.
- Weinberg, S.M., Scott, N.M., Neiswanger, K., & Marazita, M. (2005). Intraobserver Error Associated With Measurements of the Hand. *American Journal of Human Biology*, 17, 368-371.
- Williams, F. L. E., & Richtsmeier, J. T. (2003). Comparison of mandibular landmarks from computed tomography and 3D digitizer data. *Clinical Anatomy*, 16, 494–500.
- Yezerinac, S.M., Lougheed, S.C., & Handford, P. (1992). Measurement error and morphometric studies: statistical power and observer experience. *Systematic Biology*, 41, 471–82.
- Zar, J.H. (2010). *Biostatistical analysis*. Quinta Edición. Nueva Jersey: Prentice Hall.

# 21

## El Estado del Arte de la Predicción Fenotípica a través del ADN para Uso Forense

Caio Cesar Silva de Cerqueira<sup>1</sup>

Palabras clave: ADN, características físicas, herramientas forenses de inteligencia, *Hlrplex-S*, *parabon snapshot* y predicción de fenotipos.

### RESUMEN

La tecnología conocida como “Forensic DNA Phenotyping” (FDP - Fenotipado forense a través del ADN) estudia los factores genéticos asociados con características físicas para fines de predicción de fenotipos y su principal utilidad es reducir el número de sospechosos o víctimas de un determinado crimen y / o evento natural catastrófico a través del análisis del material biológico recogido en estos sitios. Es importante saber que los fenotipos de pigmentación son las principales características físicas humanas investigadas y estimadas hoy en los *kits* de predicción de fenotipos humanos para uso forense, pero otros fenotipos también son mencionados e investigados por la comunidad científica internacional. En este capítulo se da un breve recuento histórico sobre el desarrollo de la FDP y se mencionan dos de las más modernas tecnologías de predicción de fenotipos para rutina forense, a saber: *Hlrplex-S* y *Parabon Snapshot*. También se indican varias referencias bibliográficas para que el lector interesado en el tema profundice en el mismo. No menos importante que los aspectos técnicos, también se indica la importancia de dar la debida discusión en la sociedad civil, entre el público técnico y jurídico acerca de los límites de la tecnología. Algunos puntos positivos y negativos se plantean para que el lector reflexione sobre las responsabilidades y deberes de los profesionales responsables en la ejecución de las nuevas herramientas forenses de inteligencia y también se proponen posibles soluciones a los problemas éticos posiblemente asociados con la tecnología de predicción de fenotipos.

---

1 Perito Criminal en la Superintendencia de la Policía Técnica y Científica del Estado de São Paulo, Brasil.



ABSTRACT

The technology known as “Forensic DNA Phenotyping” (FDP – Forensic DNA Phenotyping) studies the genetic factors associated with physical characteristics for phenotype prediction purposes and its main use is to reduce the number of suspects / victims of a given crime and / or catastrophic natural event through the analysis of the biological material collected in these premises. It is important to know that pigmentation phenotypes are the main human physical characteristics investigated and estimated today in human phenotype prediction kits for forensic use, but other phenotypes are also mentioned and researched by the international scientific community. This chapter gives a brief historical account of the development of the FDP and mentions two of the most modern technologies for predicting phenotypes for forensic routine, namely: *Hrisplex-S* and *Parabon Snapshot*. Several bibliographical references are also indicated so that the reader interested in the subject deepens in it. No less important than the technical aspects, it is also indicated the importance of giving due discussion in civil society and among the technical and legal public about the limits of technology. Some positive and negative points are raised for the reader to reflect on the responsibilities and duties of the professionals responsible for the execution of new forensic intelligence tools and possible solutions are also provided to ethical problems possibly associated with phenotype prediction technology.

INTRODUCCIÓN

El patrón oro en el análisis genético para identificación humana en la actualidad es el llamado STRs, del inglés *Short Tandem Repeats* (Repeticiones Cortas Consecutivas o Repeticiones Cortas en *Tandem*). En este sistema de marcadores polimórficos, núcleos o motivos de repeticiones de 2 a 7 pares de bases (pb) se repiten decenas a cientos de veces y el número de estas repeticiones es lo que define un determinado alelo (Butler, 2010). De esta forma, un individuo homocigoto sería aquel que posee dos alelos

(uno proveniente del padre y otro de la madre) de tamaños idénticos, o sea, con el mismo número de repeticiones. En cambio, individuos heterocigotos serían aquellos que poseen alelos que contienen número de repeticiones distintas.

Para realizar el análisis de las repeticiones cortas consecutivas en la identificación humana, los kits comerciales utilizados en la actualidad poseen hasta 24 *loci* de STRs en un sistema de análisis simultáneo conocido comúnmente como sistema *multiplex* (como ejemplo tenemos el kit *GlobalFiler*) (Hennessy *et al.*, 2014) y el *Power-*

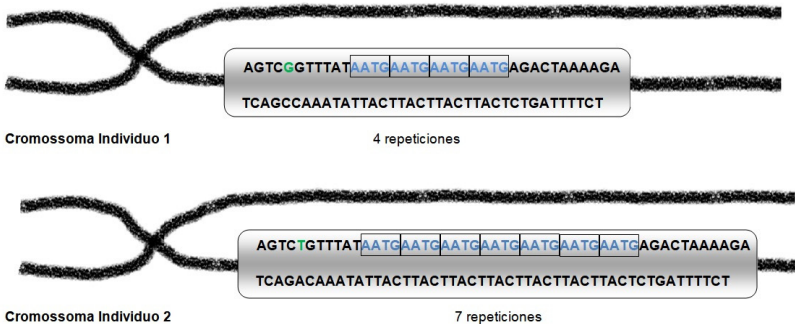


Figura 1. Representación esquemática de dos tipos de marcadores genéticos: SNP (Single Nucleotide Polymorphism - en verde) y STR (Short Tandem Repeat - en azul)

Los tramos corresponden a fragmentos ampliados de brazos cromosómicos de dos individuos. Los fragmentos destacados en azul son los llamados 'núcleos' o 'motivos' de repetición de los STRs. En el ejemplo dado arriba cada núcleo posee la siguiente configuración: 'AATG' (repetición de tetranucleótido). En el SNP, destacado en verde, hubo una modificación de una guanina ('G') para una timina ('T'), entre el individuo 1 y el individuo 2.

Fuente: Elaboración propia

*PlexFusion* (Oostdik *et al.*, 2014), siendo que para amplificar cada uno de estos loci hace uso de una secuencia de ADN conteniendo, en promedio, 350 pares de base de tamaño, lo que demanda una cantidad total diminuta de material genético, a saber: aproximadamente 0,5 a 2 nanogramos de ADN (Budowle y Van Daal, 2008; Butler, 2010). La versatilidad de los marcadores de STRs lo hace ser el principal marcador genético para análisis de identificación humana en la actualidad; y, además, los bancos de perfiles genéticos de todo el mundo están compuestos de genotipos de sus respectivos alelos. Es importante mencionar que la mayoría de los *loci* utilizados en genética forense son repeticiones de tetranucleótidos, es decir, repeticiones que poseen el núcleo o motivo de repetición de 4 pb (figura 1). Para más detalles sobre estos marcadores, por favor consulte <https://strbase.nist.gov/index.htm>.

Otro marcador genético que también es bastante versátil y utilizado de forma auxiliar en la identificación humana son los polimorfismos de nucleótidos únicos (SNPs, del inglés *Single Nucleotide Polymorphisms*). Estos marcadores tienen una presencia bastante conspicua en el genoma de nuestra especie (hay cerca de 1 SNP en cada 2000 pares de base en nuestro ADN) (Salzano, 2012) y se muestra mucho más útil, en comparación con los STRs, en materiales biológicos altamente degradados, típico en materiales recogidos en escenas de crímenes y desastres masivos, por ejemplo. Esto se debe a que los SNP son variaciones de un solo par de base en la secuencia de ADN, lo cual hace que el análisis de la región flanqueadora de donde se encuentra en el genoma sea mucho menor (basta fragmentos menores que 100 pares de bases para la amplificación 1 SNP) (Budowle y Van Daal, 2008; Butler, 2010). Hay informes en la literatura que indican utilizar de 10 a 65 picogramas de ADN para análisis simultáneos de hasta 120 SNPs (Cho *et al.*, 2014; Walsh *et al.*, 2013). Por lo que son menos polimórficos, sin embargo, en comparación con los STRs, para alcanzar el mismo poder de análisis en la identificación humana, en promedio, se busca analizar entre 50-100 SNPs (Chakraborty *et al.*, 1999; Gill, 2001). Además de estos pros y contras de los SNPs, ellos también son muy utilizados en el análisis de predicción de los fenotipos humanos (Cerqueira *et al.*, 2016, Kayser, 2015; Kayser y de Knijff, 2011) tema de este capítulo, como se verá en detalle a continuación.

Para dimensionar la importancia de los SNPs, ellos ya fueron considerados como posibles sustitutos de los STRs en la genética forense (Gill *et al.*, 2004) e incluso existen *kits* de amplificación *multiplex* utilizados para analizar el ADN en contexto forense (Börsting *et al.*, 2014; Wei *et al.*, 2012). No obstante, como los bancos de perfiles genéticos en todo el mundo están compuestos de STRs, es improbable que los SNP sustituyan a los STR para el análisis de identificación humana en el futuro, pues en términos económicos la sustitución resultaría costosa.

## LA IMPORTANCIA DE LA PREDICCIÓN DE LOS FENOTIPOS HUMANOS EN LA PRÁCTICA FORENSE

Ahora, ya familiarizados con las principales características de los STRs y SNPs en el contexto de la identificación humana, cabe informar que la única característica física proporcionada por el análisis de los marcadores de repeticiones cortas consecutivas (STRs) es el sexo biológico del individuo que ha donado la muestra. Hay un marcador conocido como “*Amelogenin*”, localizado en la región pseudo-autosómica de los cromosomas X e Y de nuestro genoma. La copia del marcador genético en el cromosoma X posee una delección de 6 pares de bases de tamaño. La versión de este marcador en el cromosoma Y no posee la referida delección (Sullivan *et al.*, 1993). De esta forma, es posible saber quién es XX (sexo biológico femenino) y quién es XY (sexo biológico masculino) a través de la presencia o ausencia de la delección mencionada en una eventual visualización y análisis de un perfil genético. Se sabe, sin embargo, que el análisis de la amelogenina no es libre de errores, como ya señaló Brinkmann (2002) y Kayser y Schneider (2009). Hasta hace pocos años, sólo se analizaba un solo marcador para el sexo. Actualmente, en la rutina forense se utilizan en los análisis de STRs más de uno de estos marcadores en los *kits multiplex* (Hennessy *et al.*, 2014, Oostdik *et al.*, 2014) para garantizar la certeza en los informes y reportes oficiales. Por lo tanto, la predicción del fenotipo humano de sexo a través del análisis de STRs es de importancia fundamental para aclarar si el donante del material biológico de determinado evento criminal, catástrofe, desastre natural, entre otros eventos; fue un hombre o una mujer.

Como he dicho, el uso sólo de la información de sexo biológico de la muestra investigada se presenta con relevancia evidente, y la investigación de otros fenotipos en el contexto forense podría revestir aún de mayor ayuda en la investigación de determinado sospechoso del evento que se investiga. Para tener una idea más clara del motivo de investigar la genética de los rasgos normales y patológicos humanos, destaco a continuación por lo menos cuatro áreas que se benefician de estos estudios de predicción: 1) Medicina preventiva: a través de la reducción de la probabilidad de aparición de una enfermedad, impedir o controlar su progresión, conocer la salud de una población; así como identificar sus necesidades sanitarias y de planificación, gestión y evaluación de los servicios de salud. 2) Farmacogenética: estudiar el efecto de la variabilidad genética de un individuo en su respuesta a ciertos fármacos; y cómo las bases moleculares y genéticas de las enfermedades pueden resultar en el desarrollo de nuevas vías de tratamiento, o incluso en la eliminación de tratamientos usando métodos de “intento y error” en las dosificaciones con los distintos tipos de drogas usadas para un mismo trastorno. 3) Rastreo preventivo de patógenos a través del análisis molecular: existen varias pruebas realizadas en el análisis clínico en que es posible verificar si un individuo tiene infección con determinado patógeno (virus, bacterias, gusanos) a través del análisis molecular de la sangre del paciente y la verificación de la existencia de determinadas secuencias genéticas o incluso fragmentos de proteínas o moléculas específicas de los patógenos, investigando su presencia o ausencia en el organismo huésped. 4) Fenotipado forense a través del ADN (FDP - *Forensic DNA Phenotyping*): ayuda en la identificación de sospechosos y/o víctimas de crímenes, accidentes masivos o catástrofes naturales a través del análisis de los vestigios biológicos encontrados en la escena del crimen o en el lugar del evento masivo para la indicación de eventuales características físicas de los individuos investigados con el fin de restringir la búsqueda de sospechosos/víctimas y/o disminuir los costos de una investigación. Para más detalles sobre estos ítems consultar la revisión de Cerqueira et al, (2016).

## ANÁLISIS EN LA LITERATURA INTERNACIONAL DE LOS MÉTODOS DE PREDICCIÓN DE FENOTIPOS HUMANOS PARA USO FORENSE

Como se ha visto, en el análisis genético es posible una gama de posibilidades y de paso dichos estudios sobre la relación genotipo-fenotipo se vieron beneficiadas en las investigaciones de evolución humana. Un ejemplo, es la búsqueda de las probables rutas de dispersión humana en el planeta Tierra y la verificación de modificaciones genéticas (a través de la comparación del genoma de poblaciones contemporáneas y poblaciones ancestrales) derivadas de presiones selectivas vividas por generaciones de antepasados a lo largo de cientos de años. Presiones que dejaron evidencias fenotípicas marcadas en las diversas poblaciones humanas y se visualizan fácilmente a través de la variabilidad en las características de pigmentación, como se muestra en los trabajos de Chaplin (2005) y Parra (2007). Estas marcas reasignadas en el genoma de nuestra especie son fácilmente detectadas en la actualidad, a través del análisis genético y la verificación de una posible funcionalidad de polimorfismos con los estudios de la relación genotipo-fenotipo.

Los estudios de reflectometría, por ejemplo, han demostrado que los individuos que viven en regiones más distantes de la línea ecuatorial en el globo terrestre (regiones templadas) poseen características de pigmentación más claras en comparación con los individuos que viven en zonas tropicales (Chaplin, 2004; Parra, 2007), este patrón de dispersión humana se correlaciona con la incidencia de la radiación ultravioleta sobre nuestro planeta, lo cual es un mecanismo evolutivo de protección adquirido por la especie contra la incidencia agresiva de los rayos solares (Jablonski y Chaplin, 2010). Tales mutaciones o polimorfismos adquiridos por dichas presiones selectivas no siempre son deletéreos; y en este caso, sirvieron como factores propulsores para los cambios en la especie y su permanencia en el ambiente como una adaptación. Por lo tanto, las diferencias de pigmentación en las poblaciones humanas reflejan un patrón genotípico existente en los individuos y la cantidad de mutaciones o polimorfismos que porta en el genoma, lo que está directamente correlacionado con la variabilidad genética existente en la especie.

Para explicar con detalle este hecho, es importante introducir dos conceptos: marcadores informativos de ancestría (AIMs – *Ancestry Informative Markers*) y marcadores informativos de fenotipo (PIMs – *Phenotype Informative Markers*). Los AIMs son marcadores genéticos que tienen grandes diferencias en las frecuencias alélicas entre (sub)poblaciones y son genotipadas para inferir ancestralidad genética en nuevas muestras (Price *et al.*, 2010). Las poblaciones latinoamericanas como un todo están formadas por la mezcla, por ejemplo, de africanos, amerindios y europeos en mayor o menor grado (Ruiz-Linares *et al.*, 2014), así como eventualmente otras ancestralidades. Esta mezcla proporciona una determinada composición genética que puede reflejarse en algunos aspectos físicos de dichas poblaciones. Por lo tanto, algunos de estos marcadores informativos de ancestría pueden o no estar relacionados con características visibles. Todos los marcadores que se relacionan (o son asociados estadísticamente) con cualquier característica física son los llamados PIMs (Cerqueira *et al.*, 2016). Por lo tanto, hay marcadores que pueden funcionar como AIMs y también como PIMs simultáneamente; y también es posible estudiar la frecuencia de estos marcadores genéticos a través de la visualización de los alelos más presentes en personas que habitan regiones específicas del globo y así verificar posibles relaciones de estas frecuencias con la presencia de características físicas diversas. Por ejemplo, en la base de datos “AlFred” (*Allelic Frequency Database* - <https://alfred.med.yale.edu/>), se puede insertar un identificador de algún polimorfismo genético y el resultado es una tabla con las frecuencias de los alelos del marcador que se busca en varias poblaciones del globo terrestre. En otras bases de datos (NCBI - <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>, Ensembl - <https://www.ensembl.org/index.html> y UCSC - <https://genome.ucsc.edu/>) es posible investigar las características detalladas de un determinado marcador genético, su localización en el genoma (íntron, éxon, si ejerce efecto regulador de la expresión de algún gen, entre otros aspectos), así como qué fenotipos y en qué poblaciones determinados polimorfismos están relacionados con ciertas características físicas.

Toda esta información y recopilación de datos son posibles gracias a los esfuerzos de científicos en todo el mundo para tratar de dilucidar las relaciones genotipo-fenotipo de nuestra especie. Para dar una idea, a nivel de pigmen-

tación, los marcadores informativos de ancestría se correlacionan con los marcadores informativos de fenotipo, pues basta pensar, por ejemplo, en poblaciones africanas y europeas. Mientras una es generalmente estereotipada (aunque estos estereotipos pueden no siempre ser verdaderos) al designarla con características físicas de pigmentación predominantemente más oscuras, la otra es pensada en general con pigmentación más clara y con mayor variabilidad en el color de ojos y cabello. En el continente americano, Ruiz-Linares *et al.* (2014) estudiaron una muestra de 7500 individuos de cinco países de América latina y verificaron que cerca del 19% de la varianza en las características de pigmentación de la piel en poblaciones latinoamericanas es explicada solamente por la ancestralidad. Es decir, realmente hay una relación evidente entre ancestralidad y pigmentación humana.

Para llegar a este nivel de información, es decir, para relacionar un marcador genético con alguna característica física específica, es necesario la confección de un estudio en el que el investigador mida o estime de manera lo más fidedigna posible las características físicas (normales o patológicas) que se quiere estudiar, usando criterios diagnósticos o descripción de fenotipos normales bien estandarizados. Después del genotipado de los individuos, se efectúa una serie de análisis estadísticos específicos para verificar si los genotipos estudiados están asociados o no con las características físicas investigadas y cuantifica, cuando sea posible, determinado efecto de los alelos de los polimorfismos estudiados. Para el fenotipado forense, la aclaración de estas relaciones es de fundamental importancia porque evidencia los marcadores que pueden ser usados para fines de predicción de fenotipo.

Los próximos párrafos de esta sección indicarán algunos de los principales artículos científicos y bibliografías que influenciaron el desarrollo de la tecnología conocida como *Forensic DNA Phenotyping* (FDP - Fenotipado Forense a través del ADN), con la finalidad de servir como punto de partida al lector, si quisiese profundizar más en el tema. El primer artículo es una revisión que publiqué en 2016, la cual informa los aspectos generales de la tecnología de predicción de fenotipos humanos, discute algunos aspectos éticos sobre el tema y también menciona los principales desarrollos de la tecnología hasta aquel año (Cerqueira *et al.*, 2016). Otros artículos de cabecera sobre aspectos generales de la tecnología de fenotipado forense son el artí-

culo de revisión del Kayser y de Knijff (2011) y el artículo que acuñó el término ‘*Forensic DNA Phenotyping*’ (Koops y Schellekens, 2008).

Antes de hablar sobre los métodos existentes propiamente dichos, se aclara que hay un consenso en la comunidad científica sobre las características físicas más factibles para usar la tecnología de FDP, es decir, son las consideradas visibles externamente (conocidas por la sigla ‘EVCs’, del inglés ‘*Externally Visible Characteristics*’) (Kayser y Schneider, 2009). Algunos de los fenotipos frecuentemente estudiados en la tecnología de la FDP son: características de pigmentación, ancestralidad, altura, presencia o ausencia de pecas, entre otros fenotipos (Cerqueira *et al.*, 2016). Todas estas características son investigadas alrededor del mundo y algunas poseen mayor exactitud en la predicción que otras, como la característica de pigmentación. Hay mucha información en la literatura científica ya consolidada sobre la relación genotipo-fenotipo para estas características, como veremos más adelante. Sin embargo, los fenotipos que todavía necesitan discusión más detallada y regulación más rígida son los llamados “*Red List*” de la FDP (Cerqueira *et al.*, 2016), a saber: Cáncer (varios tipos) y otras enfermedades físicas y mentales en general, así como características de personalidad, aunque la realización en la predicción de estas características, en el área forense, plantean aspectos legales y éticos sobre el tema.

Una investigación que destaca en el área forense con relación a la tecnología de fenotipado forense es el estudio realizado por Cerqueira *et al.* (2012) donde analizan el efecto in silico de 346 SNPs relacionados con pigmentación humana (color de la piel, ojos y pelo, así como presencia o ausencia de pecas en la piel) y de ellos se han filtrado 124 SNPs con información funcional en la literatura científica; o sea, aquellos en los que es posible indicar la función de cada alelo. Después de la compilación de la información funcional de estos SNPs se intentó predecir fenotipos de investigadores alrededor del mundo que poseían genomas en bases de datos públicas como James Watson y Craig Venter, entre otros, para comparar posteriormente estas predicciones con los fenotipos reales, basados en fotografías disponibles en la *web*. Hubo una concordancia de alrededor del 60% entre los fenotipos predichos y los fenotipos observados por las fotografías. Dicho trabajo, también intentó predecir algunos fenotipos de homínidos extin-

tos, tales como el Neanderthal, el homínido de Denisova y el paleoesquimal.

En otro estudio, Walsh *et al.* (2013) discutieron la tecnología llamada “*Hirisplex*”, basada en un *kit* de predicción por así decirlo; el cual indica la probabilidad de que un individuo tenga determinado color de pelo y ojos, basado en un análisis de 24 marcadores polimórficos (23 SNPs y 1 INDEL - marcador de inserción-delección). Los investigadores de este proyecto, liderados por el Dr. Manfred Kayser del Instituto Erasmus de Rotterdam, en Holanda, ofrecen una tabla en Microsoft Excel donde es posible insertar los genotipos de los 24 marcadores y el propio algoritmo calcula las probabilidades de los fenotipos predichos relacionados con el perfil genético insertado. En el año 2018 dicho sistema fue ampliado para predecir también color de piel (Chaitanya *et al.*, 2018). En el sitio web <https://hirisplex.erasmusmc.nl> es posible indicar los genotipos de los 24 marcadores previamente establecidos y de otros 17 polimorfismos (en un total de 41 marcadores evaluados) en el sistema llamado “*Hirisplex-S*”, donde los algoritmos calculan las probabilidades de pigmentación de ojos, cabellos y piel resultantes del perfil genético insertado (ver figura 2).

Si bien los fenotipos de pigmentación son los más estudiados en la tecnología del fenotipado forense, existen otros como el trabajo de Claes *et al.* (2014), esta investigación liderada por el Dr. Mark. D. Shriver de la Universidad del Estado de la Pensilvania, indicando algunos marcadores genéticos relacionados con características craneofaciales (SNP rs1074265 en el gen SLC35D1, SNP rs13267109 en el gen FGFR1, y el SNP rs2724262 en el gen LRP6). Este grupo intentó predecir el fenotipo facial basado en el análisis de aquellos SNPs; sin duda es un hito en esta tecnología. Esto muestra un avance para la confección de un “retrato molecular hablado” de sospechosos, basados en el análisis genético del material biológico recogido en la escena del crimen.

Lo último en tecnología sobre paneles de predicción de fenotipos incluye varias informaciones analizadas simultáneamente (*kits all-in-one* o todo-en-uno), a saber: predicción de fenotipo, inferencia de origen biogeográfico de la muestra, verificación de parentesco entre muestras, así como la predicción de sexo biológico (Keating *et al.*, 2013). Uno de los sistemas *all-in-one* de fenotipado forense se llama “*Snapshot Forensic DNA Phenotyping System*”

**Welcome to the Department of Genetic Identification of Erasmus MC** 15px

With the advancement of DNA phenotyping as a tool in Forensic and Anthropological usage, we now provide an easy to use interactive website to predict eye, hair and skin colour from DNA using the IrisPlex, HirisPlex and HirisPlex-S systems.

**This work is in collaboration with the Walsh Laboratory of Indiana-University-Purdue-University-Indianapolis (IUPUI), USA.**

If you have genotypes from SEQUENCE DATA and wish to automate the conversion of genotypes into the correct allele format for prediction using this online tool, please see the Walsh lab [tools](#) page.

Please see the [HPS manual](#) for instructions. We hope you enjoy using this tool and find it a useful addition to your analyses. If you have any issues regarding this website, please contact us at [dnaphenotyping ... at ... gmail ... com](#)

**The HirisPlex-S System**



Gene	SNP	Allele	No. of Alleles
1 MC1R	rs312262906	A	0 1 2 NA
2 MC1R	rs11547464	A	0 1 2 NA
3 MC1R	rs885479	T	0 1 2 NA
4 MC1R	rs1805008	T	0 1 2 NA
5 MC1R	rs1805005	T	0 1 2 NA
6 MC1R	rs1805006	A	0 1 2 NA
7 MC1R	rs1805007	T	0 1 2 NA
8 TUBB3	rs1805009	C	0 1 2 NA
9 MC1R	rs201326893	A	0 1 2 NA
10 MC1R	rs2228479	A	0 1 2 NA
11 MC1R	rs1110400	C	0 1 2 NA
12 SLC45A2	rs28777	C	0 1 2 NA
13 SLC45A2	rs16891982	C	0 1 2 NA
14 KITLG	rs12821256	G	0 1 2 NA
15 LOC105374875	rs4959270	A	0 1 2 NA
16 IRF4	rs12203592	T	0 1 2 NA
17 TYR	rs1042602	T	0 1 2 NA
18 OCA2	rs1800407	A	0 1 2 NA
19 SLC24A4	rs2402130	G	0 1 2 NA
20 HERC2	rs12913832	T	0 1 2 NA
21 PIGU	rs2378249	C	0 1 2 NA
22 LOC105370627	rs12896399	T	0 1 2 NA
23 TYR	rs1393350	T	0 1 2 NA
24 TYRP1	rs683	G	0 1 2 NA
25 ANKRD11	rs3114908	T	0 1 2 NA
26 OCA2	rs1800414	C	0 1 2 NA
27 BNC2	rs10756819	G	0 1 2 NA
28 HERC2	rs2238289	C	0 1 2 NA
29 SLC24A4	rs17128291	C	0 1 2 NA
30 HERC2	rs6497292	C	0 1 2 NA
31 HERC2	rs1129038	G	0 1 2 NA
32 HERC2	rs1667394	C	0 1 2 NA
33 TYR	rs1126809	A	0 1 2 NA
34 OCA2	rs1470608	A	0 1 2 NA
35 SLC24A5	rs1426654	G	0 1 2 NA
36 ASIP	rs6119471	C	0 1 2 NA
37 OCA2	rs1545397	T	0 1 2 NA
38 RALY	rs6059655	T	0 1 2 NA
39 OCA2	rs12441727	A	0 1 2 NA
40 MC1R	rs3212355	A	0 1 2 NA
41 DEF8	rs8051733	C	0 1 2 NA

Figura 2. Página principal del sitio <https://hirisplex.erasmusmc.nl>

Donde es posible para el usuario indicar los genotipos de la muestra investigada eligiendo, para cada marcador genético, la opción "0", "1" o "2", de acuerdo con las instrucciones existentes en el propio sitio. Después de la inserción de las informaciones genéticas de la muestra, el algoritmo del análisis indica, como resultado final, la probabilidad de color del ojo, cabello y el color de la piel del individuo al que pertenece el genotipo investigado.

Fuente: <https://hirisplex.erasmusmc.nl>

o “Parabon Snapshot” (<https://snapshot.parabon-nanolabs.com/>), y tal vez es la tecnología más avanzada con la que se cuenta actualmente. Los científicos del proyecto utilizan algoritmos de “machine learning” para desarrollar sus predicciones, aunque no hay detalles sobre qué marcadores se utilizaron exactamente para cada uno de los fenotipos. El sitio *web* también informa que esta tecnología ya se utiliza en otros países, además de Estados Unidos, y hace indicación de algunos casos que ya ayudó a aclarar (identificación de restos humanos, homicidios y violaciones, por ejemplo).

No obstante, no se ha encontrado ningún artículo científico donde se verifique cuál es el algoritmo utilizado en la predicción del *Parabon Snapshot*, el cual fue un proyecto financiado por el Departamento de Defensa Norteamericano. Este sistema incluye combinaciones de PIM, AIMS, entre otros marcadores para inferir o predecir ascendencia, color de ojo, color de piel, color del cabello, presencia o ausencia de pecas en la piel, así como características faciales en individuos provenientes de cualquier origen biogeográfico; y el resultado realmente sorprende. En la *figura 3* se indica la página inicial del *website* y muestra algunos fenotipos predichos por esta tecnología; así como la comparación de estos fe-



Figura 3. Página principal del sitio <https://snapshot.parabon-nanolabs.com/>

Se puede observar algunos fenotipos predichos por esta tecnología, y la comparación de los fenotipos predichos con los fenotipos reales (mostrados por fotografías). El resultado realmente impresiona, aunque no se sabe con certeza el algoritmo utilizado en esta predicción.

Fuente: sitio <https://snapshot.parabon-nanolabs.com/>

notipos con las fotografías de los fenotipos reales de los individuos estudiados.

Además de los fenotipos de pigmentación, investigaciones adicionales están en desarrollo para otros fenotipos, como muestran las publicaciones sugeridas a continuación: altura (Allen *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2014), estimación de la edad (Zubakov *et al.*, 2010; Zbiec-Piekarska *et al.*, 2015; Parson, 2018), calvicie (Adhikari *et al.*, 2016), entre otros fenotipos (ver Cerqueira *et al.*, 2016, Cerqueira y Ramallo, 2016; Kayser y de Knijff, 2011 para más detalles).

Es importante mencionar que la tecnología de fenotipado forense a través del análisis del ADN ha sido introducida en la práctica forense (específicamente en Holanda, Reino Unido y Estados Unidos) principalmente para reducir el número de sospechosos de un crimen, evitando así los costos involucrados en una investigación policial, y también reducir el llamado “DNA dragnet” que ocurre cuando decenas o centenas de personas de una localidad (barrio, escuela, industria) relacionada con el suceso de un determinado crimen son solicitadas a donar su respectivo material genético para fines de verificación con el análisis convencional de STRs, para indagar la compatibilidad del ADN de la persona donadora con el material genético dejado eventualmente en una escena de crimen.

De este modo, la idea central es utilizar el máximo de información sobre un determinado sospechoso/víctima a través del análisis del material genético recogido en el lugar de un crimen o eventos catastróficos. En el artículo de Koops y Schellekens (2008) hay un ejemplo de lo que sería el más avanzado de esta tecnología, como sigue:

*“El sospechoso es probablemente un hombre Caucásico de ascendencia escandinava, probablemente tiene cabellos pelirrojos y pecas en la piel, es zurdo y tiene estatura encima del promedio, y probablemente es un fumador”.*

El trabajo de Koops y Schellekens (2008) también hicieron relevante el fenotipado forense a través del ADN en el aspecto legal, y en aquella ocasión ya se había comprobado que Holanda era y sigue siendo el país más avanzado en el tema, previsto por la ley desde 2003. El país de Estados Unidos posee una legislación bastante diversificada, en el sentido de que cada Estado tiene autonomía legislativa sobre el tema, hay Estados que prevén la prohibición de la predic-

ción de rasgos físicos, excepto el sexamiento con el análisis del ADN para casos forenses; hasta Estados que utilizan la tecnología de predicción más abiertamente. Otros países, como Bélgica y Alemania prohíben explícitamente la tecnología. En Reino Unido se tiene una legislación más amplia y deja abierto el tema. Un hecho interesante es que existe diferencia entre el permiso de uso de datos fenotípicos para fines de investigación policial, y el permiso de la inserción de informaciones fenotípicas en las bases de datos genéticos; son cosas completamente distintas, y parece haber cierta confusión cuando se trata de este tema. En Brasil, por ejemplo, hay prohibición legal específica con relación a la inserción de informaciones fenotípicas en las bases de datos genéticos, hecho comprensible, ya que ninguna utilidad habría en la creación de tal base de datos, ni siquiera para fines estadísticos. Por otro lado, la legislación es omisa con respecto al uso de la tecnología dentro de los laboratorios forenses, mismo sin la realización del almacenamiento de las informaciones predichas.

## CONSIDERACIONES SOBRE LOS ASPECTOS ÉTICOS DE LA PREDICCIÓN DE FENOTIPOS EN LA RUTINA FORENSE

El problema del desarrollo tecnológico no es la tecnología en sí, sino lo que el ser humano puede hacer con ella. Es fundamental en el desarrollo de toda tecnología la debida discusión dentro de la sociedad civil, y entre el público técnico y jurídico con respecto a sus límites. En vista de esta cuestión, se discutirán algunos aspectos consensuados y fronterizos en la comunidad científica de lo que es ético y lo que no, por los profesionales especializados en relación con la predicción de fenotipos a través del análisis del ADN en la rutina de la investigación policial. También, se proporcionarán sugerencias de carácter práctico para una futura legislación en el área y para que los límites del uso de la tecnología sean respetados por los técnicos que utilizará la FDP en la práctica pericial.

En los casos en que el análisis convencional de STRs u otras técnicas de investigación policial no hayan sido útiles en la elucidación de un hecho ilícito, se investigan determinadas características físicas de quien cometió un crimen, como vimos en los párrafos anteriores. Esto puede ser hecho también con el uso del retrato hablado,



que es la descripción de un sujeto dado por testigos de un crimen. Sin embargo, investigaciones alrededor del mundo refieren que la descripción física de un sospechoso a partir de la información proporcionada por un testigo no siempre es fidedigna (Spinney, 2008). Esto puede ser debido a una infinidad de motivos, tales como: estrés por testimoniar el crimen; la persona que testificó puede no ser un buen fisionomista; las pésimas condiciones ambientales de luminosidad en que el crimen ocurrió, entre otros factores. Por lo tanto, un análisis objetivo con el uso del ADN se ha mostrado más útil y confiable, que la descripción de un testigo. Además, en la fase investigativa del crimen, el análisis de ADN podría concordar o no con una determinada descripción proporcionada por un testigo, reforzando un determinado perfil fenotípico de un potencial sospechoso del crimen.

En los párrafos siguientes, se describirán algunos aspectos de la tecnología de la FDP y se discutirán posibles soluciones basadas en argumentos consensuados de los especialistas en el área de la genética, considerando las regulaciones y recomendaciones de organismos internacionales sobre el tema de predicción de fenotipos a través del análisis del ADN. Debido a que existen argumentos contra el desarrollo de la tecnología del fenotipado forense a través del ADN, aquí se destacan dos de las principales críticas con relación a esta tecnología, como sigue: a) derecho de no saber lo que el ADN dice acerca de los aspectos físicos (enfermedades, etc.) de la persona investigada; b) protección de los datos y privacidad de las informaciones predichas, es decir, quiénes tendrían acceso a los posibles bancos de datos de informaciones fenotípicas forenses. El punto central sería evitar eventuales estigmatizaciones y discriminaciones basadas en las informaciones predichas.

El primer punto puede ser aclarado a través de una pregunta: ¿Si se produce un crimen grave (homicidio, violación, latrocinio, etc.), el derecho de no saber debería prevalecer o el interés público en la investigación debería ser tenido en cuenta? Se hace necesaria una exacta especificación en lo que se refiere a los fenotipos que podrían ser usados en la tecnología del Fenotipado Forense a través del ADN y también la definición de que, si el sospechoso solicita, él (o su defensor constituido) podría tener acceso a la información predichas. Las enfermedades que poseen una cura disponible o enfermedades con relativo bajo impacto podrían también

ser viables de uso en la tecnología, particularmente como un último recurso en casos de crímenes violentos, y la llamada '*lista roja*' de los fenotipos (Cerqueira *et al.*, 2016), por ejemplo, podría usarse en casos excepcionales, definidos previamente por un comité gestor y regulados por la ley. En estos casos, el interés público en la investigación criminal tendría mayor valor que el derecho de no-saber. Además, la información única que podría divulgarse sería sólo las EVC (o rasgos neutros como destreza manual), como si fuera un retrato hablado del sospechoso. Todas las demás características físicas deben estar en secreto. Tales informaciones, por lo tanto, no se divulgaría para el público en general, sólo para la investigación policial.

Una cuestión para pensar sobre la tecnología de predicción de fenotipos humanos es que los métodos tradicionales ya utilizados (sin uso del análisis de ADN) en el área pericial también pueden informar algunos rasgos físicos relacionados con la persona. Por ejemplo, en el análisis de gotas de sangre encontradas en escenas de crimen es posible saber el grupo sanguíneo de la muestra; o desde la orina recogida es posible saber si el individuo es usuario de drogas o si tiene niveles elevados de azúcar en la sangre, lo que puede indicar diabetes (a través de la toxicología forense); y de otros métodos, se ha demostrado que los patrones específicos de la huella dactilar y los dermatoglifos se correlacionan con algunas enfermedades específicas (Golembos-Smith *et al.*, 2012, Jamalian *et al.*, 2014). Es decir, todas estas informaciones pueden ser (y muchas veces son) derivadas de la investigación pericial, en mayor o menor grado, sin siquiera usar el análisis de ADN propiamente dicha. En fin, la reglamentación de toda la información posible de predecir a partir del análisis de material biológico debe ser hecha para que las fronteras de lo que es permitido sean delineadas.

Un argumento favorable a la implantación del fenotipado forense a través del ADN es que no afecta ningún principio, reglamentación, ley o recomendación internacional sobre el análisis genético, ya que la información analizada de una muestra procedente de la escena de crimen, por ejemplo, son datos disociados de cualquier persona específica *a priori*, esto es útil sólo para fines de la investigación con el objeto de restringir un grupo de sospechosos culpables de cometer un crimen, y así encontrar tal persona específica, sólo después de la realización de pruebas posteriores convencionales dentro de

esta lista de sospechosos, tal como se hace en la investigación policial de búsqueda a partir de un retrato hablado.

En cuanto al segundo punto, la protección de los datos y la privacidad de las informaciones predichas, hay argumentos que indican que ni siquiera para fines estadísticos serviría la existencia de un banco de datos de informaciones fenotípicas de sospechosos. Realmente no hay necesidad de inclusión de informaciones fenotípicas en base de datos policiales. En caso de que algún país tenga tal banco, la preservación del secreto y el castigo con el rigor de la ley deben ser aseguradas como medidas de seguridad contra los individuos que vaciaran estas informaciones. Es siempre bueno recordar que la elucidación de la relación genotipo fenotipo no es exclusiva al material biológico de un determinado sospechoso. Sus parientes cercanos y terceros ajenos al crimen podrían verse afectados por la fuga de dicha información, y esto debe estar claro para los gestores de estos datos. La tecnología del FDP sería útil sólo para propósitos tácticos intrínsecos a la investigación, y debe ser usada sólo como una pista, ya que no es una tecnología incriminatoria (o absoluta) tal como sea el análisis de STRs. Todas las características investigadas son sólo probabilísticas y eso debe estar claro en el informe final dado por el experto criminal, o jefe de la investigación policial.

En fin, muchos profesionales se preguntan “¿Hasta qué punto la tecnología es confiable desde el punto de vista práctico para ser aplicable?” Es importante subrayar aquí que, aunque hubiera un margen de error relativamente grande, esto no influiría en el resultado de un determinado caso, ya que después del uso de la FDP, el análisis convencional con los STRs sería usado para un *match*. Con el uso de la FDP, la diferencia sería la reducción del número de personas probadas para análisis de STRs convencional, lo que podría reducir sustancialmente el costo en la búsqueda de un sospechoso, como ya se ha discutido. Además, es mandatorio que el profesional que realiza la tecnología de la FDP en la práctica forense tenga conciencia y deje claro en

su reporte técnico (para que la policía haga la búsqueda) de que los fenotipos predichos son probabilísticos y no determinísticos, y por lo tanto, siempre habrá un margen de variación en el fenotipo debido a efectos ambientales o incluso a un pequeño margen de error en las predicciones (aunque sea mínimo).

Además de la principal utilidad de reducción de sospechosos de crimen con la tecnología de Fenotipado Forense a través del ADN, al menos otras dos utilidades serían válidas, según sigue: 1) ayuda en la búsqueda de personas desaparecidas a través de la reconstrucción fenotípica a partir del ADN extraído de huesos, método ya usado en la antropología forense, a través de la estimación de altura y edad por el tamaño del fémur, cráneo y otros huesos; 2) ayuda en la reconstrucción fenotípica de niños desaparecidos para comprobar cómo sería en la vida adulta a partir del análisis del ADN. Esto ayudaría enormemente al método ya utilizado en computación forense a través del análisis de fotografías.

Cabe consignar que todos los análisis deben ser efectuados en consonancia con recomendaciones expresadas por los organismos y legislaciones internacionales, tales como: *International Declaration on Human Genetic Data* (Disponible en: <http://www.unesco.org/new/en/social-and-human-sciences/themes/bioethics/human-genetic-data/>); *Universal Declaration on the Human Genome and Human Rights* (Disponible en: <http://www.unesco.org/new/en/social-and-human-sciences/themes/bioethics/human-genome-and-human-rights/>); y *Universal Declaration on Bioethics and Human Rights* (Disponible en: <http://www.unesco.org/new/en/social-and-human-sciences/themes/bioethics/bioethics-and-human-rights/>).

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la UNAM y a la ENAH, en especial a los colegas Mirsha Quinto-Sánchez y Jorge Gomez-Valdés por la invitación a componer esta obra.

## REFERENCIAS CITADAS

- Adhikari K, Fontanil T, Cal S, Mendoza-Revilla J, Fuentes-Guajardo M, *et al.* 2016. A genome-wide association scan in admixed Latin Americans identifies loci influencing facial and scalp hair features. *Nat Commun.* 7: 10815.
- Allen HL, Estrada K, Lettre G, Berndt SI, Weedon MN, *et al.* 2010. Hundreds of variants clustered in genomic loci and biological pathways affect human height. *Nature.* 467: 832-838.

- Børsting C, Fordyce SL, Olofsson J, Mogensen HS, Morling N. 2014. Evaluation of the Ion Torrent™ HID SNP 169-plex: A SNP typing assay developed for human identification by second generation sequencing. *Forensic Sci Int Genet.* 12: 144-54.
- Brinkmann B. 2002. Is the amelogenin sex test valid? *Int J Legal Med.* 116: 63.
- Budowle B & van Daal A. 2008. Forensically relevant SNP classes. *Biotechniques.* 44: 603-610.
- Butler JM. 2010. *Fundamentals of forensic DNA typing.* USA: Elsevier. ISBN: 978-0-12-374999-4. 504p.
- Cerqueira CCS, Paixão-Côrtes VR, Zambra FMB, Salzano FM, Hunemeier T, *et al.* 2012. Predicting Homo Pigmentation Phenotype Through Genomic Data: From Neanderthal to James Watson. *Am J Hum Biol.* 24(5): 705-709.
- Cerqueira CCS & Ramallo V. 2016. El análisis de ADN como herramienta de la antropología forense. En: *Introducción a la Antropología Biológica.* Org.: Lorena Madrigal & Rolando González-José. Asociación Latinoamericana de Antropología Biológica. ISBN 978-987-33-9562-8. 678p.
- Cerqueira CCS, Ramallo V, Hunemeier T, de Azevedo S, Quinto-Sánchez M, *et al.* 2016. Predicting Physical Features and Diseases by DNA Analysis: Current Advances and Future Challenges. *J Forensic Res.* 7: 336.
- Chakraborty R, Stivers DN, Su B, Zhong Y, Budowle B. 1999. The utility of STR loci beyond human identification: implications for the development of new DNA typing systems. *Electrophoresis.* 20: 1682-1696.
- Chaplin G. 2004. Geographic distribution of environmental factors influencing human skin coloration. *Am J Phys Anthropol.* 125: 292-302.
- Claes P, Liberton DK, Daniels K, Rosana KM, Quillen EE, *et al.* 2014. Modeling 3D facial shape from DNA. *PLoS Genet.* 10(3): e1004224.
- Gill P. 2001. An assessment of the utility of single nucleotide polymorphisms (SNPs) for forensic purposes. *International Journal of Legal Medicine.* 114: 204-210.
- Gill P, Werrett DJ, Budowle B, Guerrieri, R. 2004. An assessment of whether SNPs will replace STRs in national DNA databases — Joint considerations of the DNA working group of the European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI) and the Scientific Working Group on DNA Analysis Methods (SWGDM). *Science & Justice.* 44, 51 – 53 .
- Golembo-Smith S, Walder DJ, Daly MP, Mittal VA, Kline E, *et al.* 2012. The presentation of dermatoglyphic abnormalities in schizophrenia: a meta-analytic review. *Schizophr Res.* 142(1-3): 1-11.
- Hennessy LK, Mehendale N, Chear K, Jovanovich S, Williams S, *et al.* 2014. Developmental validation of the Global Filer® express kit, a 24-marker STR assay, on the RapidHIT® System. *Forensic Sci Int Genet.* 13: 247-58.
- Jablonski NG & Chaplin G. 2010. Human skin pigmentation as an adaptation to UV radiation. *Proc Natl Acad Sci USA.* 107(Suppl 2): 8962-8968.
- Jamalian M, Mesri M, Vishteh HR, Solhi H, Salehpour R. 2014. Fingerprints: A simple method for Screening Hemophilic Patients. *Bangladesh Med Res Counc Bull.* 40(2): 85-8.
- Kayser M, de Knijff P. 2011. Improving human forensics through advances in genetics, genomics and molecular biology. *Nat Rev Genet.* 12: 179-192.
- Kayser M, Schneider PM. 2009. DNA-based prediction of human externally visible characteristics in forensics: Motivations, scientific challenges, and ethical considerations. *Forensic Sci Int Genet.* 3: 154-161.
- Kayser M. 2015. Forensic DNA Phenotyping: Predicting human appearance from crime scene material for investigative purposes. *Forensic Sci Int Genet.* 18: 33-48.
- Keating B, Bansal AT, Walsh S, Millman J, Newman J, *et al.* 2013. International Visible Trait Genetics (VisiGen) Consortium. First all-in-one diagnostic tool for DNA intelligence: genome-wide inference of biogeographic ancestry, appearance, relatedness, and sex with the Identitas v1 Forensic Chip. *Int J Legal Med.* 127(3): 559-72.
- Koops BJ & Schellekens HM. 2008. Forensic DNA phenotyping: regulatory issues. *Columbia Sci Technol Law Rev.* 9: 158-202.
- Liu F, Hendriks AE, Ralf A, Boot AM, Benyi E, *et al.* 2014. Common DNA variants predict tall stature in Europeans.

- Hum Genet. 133: 587-597.
- Oostdik K, Lenz K, Nye J, Schelling K, Yet D, *et al.* 2014. Developmental validation of the PowerPlex® Fusion System for analysis of casework and reference samples: A 24-locus multiplex for new database standards. *Forensic Sci Int Genet.* 12: 69-76.
- Parra EJ. 2007. Human pigmentation variation: evolution, genetic basis, and implications for public health. *Am J Phys Anthropol.* 45: 85-105.
- Parson W. 2018. Age Estimation with DNA: From Forensic DNA Fingerprinting to Forensic (Epi)Genomics: A Mini-Review. *Gerontology.* 64(4): 326-332.
- Price AL, Zaitlen NA, Reich D, Patterson N. (2010). New approaches to population stratification in genome-wide association studies. *NatRev Genet.* 11(7): 459-63.
- Ruiz-linares A, Adhikari K, Acuña-Alonzo V, Quinto M, Jaramillo C, *et al.* 2014. Admixture in Latin America: geographic structure, phenotypic diversity and self-perception of ancestry based on 7,342 individuals. *PLoS Genetics.* 10(9): e1004572.
- Salzano FM. 2012. Genômica e evolução - moléculas, organismos e sociedades. Oficina de textos. 274p. ISBN: 978-8-57-975038-0.
- Spinney L. 2008. Eyewitness identification: line-ups on trial. *Nature.* 453(7194): 442-444.
- Sullivan KM, Mannucci A, Kimpton CP, Gill P. 1993. A rapid and quantitative DNA sex test – fluorescence-based PCR analysis of X-Y homologous gene amelogenin. *Biotechniques.* 15: 636-638.
- Walsh S, Liu F, Wollstein A, Kovatsi L, Ralf A, *et al.* 2013. The HirisPlex system for simultaneous prediction of hair and eye colour from DNA. *Forensic Sci Int Genet.* 7(1): 98-115.
- Wei YL, Li CX, Jia J, Hu L, Liu Y. 2012. Forensic identification using a multiplex assay of 47 SNPs. *J Forensic Sci.* 57(6): 1448-56.
- Zbiec-Piekarska R, Spolnicka M, Kupiec T, Parys-Proszek A, Makowska Z, *et al.* 2015. Development of a forensically useful age prediction method based on DNA methylation analysis. *Forensic Sci Int Genet.* 17: 173-179.
- Zubakov D, Liu F, van Zelm MC, Vermeulen J, Oostra BA, *et al.* 2010. Estimating human age from T-cell DNA rearrangements. *Curr Biol.* 20: R970-R971.

# 22

## Reconocimiento Automático de Estructuras Anatómicas por Medio de Morfometría Geométrica y Deep Learning

**Celia Cintas<sup>1</sup>**

**Claudio Delrieux<sup>2</sup>**

**Pablo Navarro<sup>3</sup>**

**Mirsha Quinto-Sanchez<sup>4</sup>**

**Víctor Acuña Alonzo<sup>5</sup>**

**Rolando González José<sup>1</sup>**

**Carla Gallo<sup>6</sup>**

**Giovanni Poletti<sup>6</sup>**

**Francisco Rothhammer<sup>7</sup>**

**Gabriel Bedoya<sup>8</sup>**

**Andres Ruiz-Linares<sup>9</sup>**

Palabras clave: aprendizaje profundo, procesamiento de imágenes, morfometría geométrica, *landmarks*.

- 
- 1 Instituto Patagónico de Ciencias Sociales y Humanas (IPCSH), Centro Nacional Patagónico (CENPAT - CONICET), Boulevard Brown 2915, Puerto Madryn, Provincia de Chubut, Argentina.
  - 2 Laboratorio de Ciencias de las Imágenes, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras, Universidad Nacional del Sur y CONICET, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.
  - 3 Departamento de Informática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew-Chubut, Argentina.
  - 4 Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
  - 5 Laboratorio de Genética Molecular. ENAH. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.
  - 6 Laboratorios de Investigación y Desarrollo, Facultad de Ciencias y Filosofía, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú.
  - 7 Instituto de Alta Investigación Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.
  - 8 GENMOL, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
  - 9 Department of Genetics, Evolution and Environment, and UCL Genetics Institute, University College London, London, United Kingdom, MOE Key Laboratory of Contemporary Anthropology, Fudan University, Shanghai, China, Aix Marseille Univ, CNRS, EFS, ADES, Marseille, France.

## RESUMEN

La adquisición de información fenotípica es un aspecto clave en diversos contextos, incluyendo análisis biométricos, estudios bioantropológicos, investigaciones biomédicas y en ciencia forense; por citar solo algunas aplicaciones. Para esta adquisición se requiere la identificación automática de estructuras anatómicas de interés biométrico, como por ejemplo huellas dactilares, patrones en el iris o rasgos faciales. Estas estructuras son utilizadas masivamente, pero poseen la desventaja de requerir intrusión (o por lo menos la colaboración activa de la persona muestreada) para adquirir la información a ser analizada. En cambio, las orejas no presentan dicha desventaja, además de no modificarse a lo largo de la maduración o envejecimiento de la persona, y ser inmunes a los gestos faciales. En este capítulo, presentamos un nuevo método basado en la morfometría geométrica para la detección y extracción automática de datos anatómicos característicos (*features*) en la forma de hitos (*landmarks*) en 2D en orejas. Para ello, se entrenó una red neuronal convolucional con un conjunto de datos obtenidos en forma supervisada por medio de expertos antropólogos y biólogos. El sistema resultante posee la capacidad de realizar *landmarking* en forma automática en imágenes y video sin preparación previa, obteniéndose parámetros de calidad equivalente a los adquiridos por expertos humanos. Estos resultados abren la posibilidad de generar en forma automática y confiable vectores de atributos basados en propiedades fenotípicas. Se exploran además en este capítulo las aplicaciones en diversos contextos incluyendo biometría, videojuegos, interfases naturales y otros usos posibles.

## ABSTRACT

Accurate gathering of phenotypic information is a key aspect in several subject matters, including biometric identification, biomedical analysis, bioanthropology studies, forensics, and many other. Automatic identification of anatomical structures of biometric interest, such as fingerprints, iris patterns, or facial traits, are extensively used in applications like access control, anthropological research, and surveillance, all having in common the drawback of requiring intrusive means for acquiring the required information. Ears, instead, are not so restricted, and are also advantageous since they do not vary along aging in people and are also oblivious to facial gestures. In this chapter we present a new method for automatic ear phenotype detection and feature extraction in the form of 2D landmarks. The method is grounded on two well established methodologies, Geometric Morphometrics and Deep Learning. A convolutional neural network was trained with a set of manually landmarked examples. The trained convolutional network is able to provide morphometric landmarks on images automatically, with a performance that matches human assisted landmarking. The feasibility of using landmarks as feature vectors for different classifications tasks is explored in a novel spectrum of biometrics, video games, and natural user interfaces applications.

## INTRODUCCIÓN

El *landmarking* automático aplicado a rostros humanos, definido en visión computacional como la detección y localización de puntos característicos de la cara (y todos sus componentes, orejas, ojos, etc), es un paso intermedio muy importante para muchas operaciones subsiguientes de análisis facial. Este análisis incluye diversos aspectos y aplicaciones, incluyendo biometría (Lanitis et al., 1995; Wiskott et al., 1997; Campadelli et al., 2003), animación facial (Kang Liu et al., 2008), interacción humano-computadora, detección de pose y mirada, comprensión de la expresión facial (Tian et al., 2001; Pantic y Rothkrantz, 2000), reconstrucción 3D de rostros (Ying et al., 2006), videojue-

gos y estudios de antropología física. Más allá de su sencilla definición, este problema presenta varios desafíos, desde la misma variabilidad intrínseca de la especie humana, hasta factores como la pose de las personas, su expresión facial, las condiciones de iluminación, las posibles oclusiones parciales, la existencia de defectos en la toma de la imagen o video, etc. Si bien en este capítulo se resuelve el problema del *landmarking* automático 2D orientado a orejas para aplicaciones específicas en estudios antropométricos, se deja también como resultado un *framework* generalizado disponible para otras aplicaciones.

Tradicionalmente los estudios antropométricos sobre el rostro humano se fundamentan en medidas de características básicas, lo cual es un trabajo supervisado intensivo, pero carece de

un acercamiento integral al problema. Por otro lado, el fenotipado a gran escala y de alto rendimiento se vuelve una necesidad en la era pos-genómica (Guo et al., 2013), en que la capacidad de relevar y procesar datos masivos tanto en el espectro genómico como el fenotípico es clave para potenciar la detección de factores genéticos y no genéticos responsables de la variación normal y patológica en humanos. El desarrollo de nuevas técnicas avanzadas en procesamiento de imágenes puede ser un camino valioso para la recolección minuciosa y abarcativa de datos morfológicos de diferentes organismos. En particular, el tejido blando de la cara humana es una compleja geometría, compuesta por varios órganos, incluyendo, ojos, nariz, orejas, boca, etc. Dadas sus funciones biológicas principales, el rostro humano es un tópico central en varias investigaciones con un amplio rango de aplicaciones, incluyendo antropología (Gómez-Valdés et al., 2013; Quinto-Sánchez et al., 2015; Schlager y Rüdell, 2015; Paschetta et al., 2016), medicina genética (Hammond, 2007; Hammond et al., 2005; Weinberg et al., 2008), ciencias forenses (Alexander et al., 2011; Kurniawan et al., 2014; Liu et al., 2015, Albert et al., 2007), envejecimiento (Ramanathan et al., 2009; Fu et al., 2010) y genómica cuantitativa (Liu et al., 2012; Adhikari et al., 2016). Sin embargo, por un largo período de tiempo, no han podido ser usadas en toda su potencialidad las importantes variables cuantitativas sobre rostros humanos, dado que estos estudios requieren un ingreso de datos manual sobre tediosas mediciones tomadas a partir de un conjunto de coordenadas por parte de especialistas. Este ingreso de datos es determinado subjetivamente, dando lugar a grandes variaciones tanto en un mismo especialista a lo largo del tiempo (debido a distracciones, fatiga, etc.) como a variaciones intersubjetivas entre dos o más especialistas (Segev et al., 2010; Kamoen et al., 2001). Estos errores inherentes hacen aún más crítico el proceso de captura de datos.

En este capítulo se presenta un método automatizado basado en la morfometría geométrica y utiliza redes convolucionadas (CNN) para la realización del *landmarking*. Luego de entrenar la red con *landmarks* colocados de forma manual junto con sus imágenes, el algoritmo es capaz de ubicar la posición de *landmarks* y *semi-landmarks* de forma adecuada. Se emplearon bosques aleatorios (ERT) para probar

la viabilidad de utilizar *landmarks* para tareas de reconocimiento e identificación, los cuales son especialmente útiles para determinar la importancia de los datos, cómo son clasificados y para obtener valores de pesos relativos o medir la importancia de cada dimensión en el espacio de características. Toda la implementación fue desarrollada con herramientas libres y abiertas; el código se encuentra disponible<sup>10</sup>, por lo que el modelo pre-entrenado y el código pueden ser descargados y utilizados.

## CONCEPTOS BÁSICOS DE APRENDIZAJE PROFUNDO

El aprendizaje profundo o *deep learning* (DL) permite que modelos computacionales compuestos por varias capas de procesamiento puedan *aprender* representaciones sobre datos con múltiples niveles de abstracción y, mediante ese concepto, descubrir representaciones precisas de forma autónoma en grandes volúmenes de datos. DL ha logrado recientemente grandes avances en diversos contextos científicos, incluyendo el reconocimiento de imágenes (Krizhevsky et al., 2012; Farabet et al., 2013; Tompson et al., 2014; Szegegy et al., 2015), reconocimiento del habla (Mikolov et al., 2011; Hinton et al., 2012), el análisis de datos del acelerador de partículas (Sadowski et al., 2014), la reconstrucción de circuitos del cerebro (Helmstaedter et al., 2013), predicción de efectos en mutaciones *npn-coding* DNA en expresión genética y enfermedades (Leung et al., 2014; Xiong et al., 2015) y muchas otras áreas (LeCun et al., 2015). En DL cada capa subsiguiente extrae progresivamente representaciones más abstractas a partir de los datos de entrada y crea una nueva representación para ser utilizada por la siguiente capa. Un ejemplo de esto se puede ver en la [figura 1](#). Las capas más altas en la jerarquía amplifican características importantes para su discriminación, que quizás fueron pasadas por alto en el análisis supervisado. Por ejemplo, en una imagen, podrían ser la ocurrencia de bordes en cierta orientación, la siguiente capa podría detectar bordes en una disposición específica y la siguiente capa, probablemente, identificaría estos bordes como partes de un objeto en particular.

Un caso particular de DL son las redes convolucionales o *convolutional neural networks* (CNN) (Fukushima, 1980; LeCun et al.,

10 [https://github.com/ceciacintas/tests\\_landmarks](https://github.com/ceciacintas/tests_landmarks)

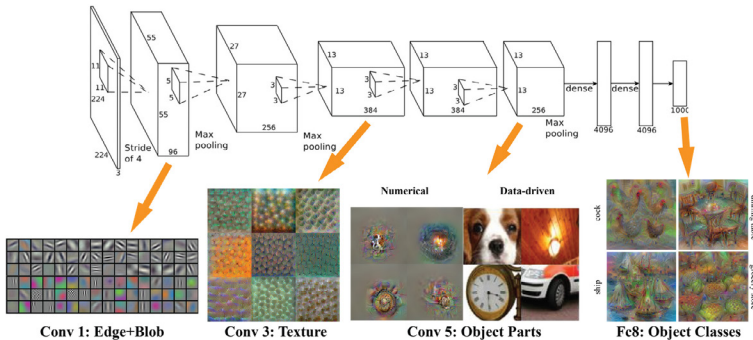
1998) (ver figura 2), las cuales constituyen actualmente el estado del arte de varios problemas de visión computacional, dado su buen desempeño de clasificación en grandes volúmenes de imágenes (Toshev y Szegedy, 2014; Krizhevsky et al., 2012; Dieleman et al., 2015). Su gran rendimiento está basado en el uso de cuatro conceptos fundamentales: conexiones locales, pesos compartidos, *pooling* y el uso de varias capas (LeCun et al., 2015). Por otro lado, dada la gran cantidad de grados de libertad de un modelo de aprendizaje en CNNs, en ciertos problemas como los que nos ocupan en este capítulo la red debe *aprender* millones de parámetros, por lo que se deben tomar precauciones para evitar *overfitting* (la red puede simplemente memorizar todos los ejemplos y tener una pobre generalización).

Una ventaja adicional de las CNNs es su capacidad de trabajar directamente con los datos sin preparación previa, en caso de una imagen, los píxeles (LeCun et al., 2015), sobreponiéndose a la limitación usual en el aprendizaje de máquina clásico. En los modelos tradicionales de *pattern matching* es necesario crear un extractor de características que transforme los valores crudos de los patrones a analizar en un vector de características (*features*) para representar el problema en un espacio adecuado (*feature space*). Por lo tanto, se requiere tradicionalmente realizar una ingeniería previa que transforme los datos de su formato original al espacio de características. Diferentes extractores de características en un mismo problema pueden mejorar o deteriorar sensiblemente la performance del

aprendizaje, por lo que la ingeniería de características termina siendo un problema en sí mismo, lo cual en DL no ocurre.

Una arquitectura de red basada en DL es una pila de múltiples capas simples, en las cuales gran parte de ellas calculan un mapeo no lineal entre la entrada y la salida. Cada capa en la pila transforma su entrada para incrementar la selectividad y al mismo tiempo su invariancia sobre su representación. Con una arquitectura de entre 5 y 15 capas de profundidad, una red es capaz de implementar funciones muy complejas sobre sus entradas, que pueden llegar a ser simultáneamente sensibles a detalles minuciosos, e insensibles a grandes variaciones irrelevantes. En el caso de imágenes, la red puede *aprender* a ser indiferente a elementos irrelevantes como el fondo, la postura de las personas, variaciones en la iluminación y parámetros de la cámara, y la presencia de objetos aledaños, siendo en cambio muy específica la detección de características u objetos que están apenas presentes.

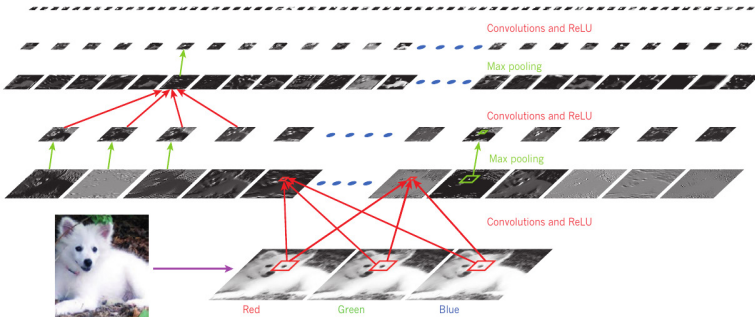
El aprendizaje de representación es un conjunto de métodos que permite descubrir automáticamente representaciones a partir de los datos sin preparación previa, las cuales son útiles para la detección y clasificación. Los métodos de DL son aprendizajes de representación con varios niveles o capas de representación, que se construyen mediante varios módulos no lineales, cada uno de estos transforman la representación de un nivel inicial (*raw data*) en una representación cada vez más abstracta. Un aspecto clave en DL es que las distintas abstracciones sobre



**Figura 1.** Diferentes niveles de abstracción de la representación a medida que se avanza en la pila de capas

Fuente: Mahendran y Vedaldi, (2015)





**Figura 2.** CNN para clasificación de raza de perros

Fuente: LeCun et al., (2015)

los datos son inferidas desde los datos originales usando procedimientos genéricos de aprendizaje.

La forma más utilizada de aprendizaje de máquina sea DL o no, es el aprendizaje supervisado, en el cual se desea entrenar un *clasificador* o un *regresor* a partir de ejemplos de entrenamiento, para que una vez entrenado satisfactoriamente, el sistema sea capaz de realizar predicciones atinadas sobre casos que no ha visto previamente. En el caso de visión por computadora, durante el entrenamiento, la computadora recibe imágenes y genera un vector de puntajes como salida, uno por cada categoría que contiene. Luego se calcula una función objetivo que mide el error entre la salida del vector de puntajes calculados por el método y el real. El algoritmo modificará sus parámetros internos para reducir este error. Estos parámetros son comúnmente llamados pesos, que se pueden pensar como controles que nos permiten modelar la función de entrada/salida de nuestra máquina.

Normalmente, en DL, se cuenta con miles de millones de estos pesos, y entre miles y millones de ejemplos etiquetados para su entrenamiento. Para ajustar debidamente estos pesos, el algoritmo de aprendizaje calcula un vector de gradiente, que, por cada peso, indica la cantidad por la que el error se incrementará o decrementará si el valor de este peso se incrementará en una pequeña cantidad. Luego, el vector de pesos se ajusta en la dirección opuesta al vector de gradiente. Este método básico de descenso por el gradiente ha sido aplicado exitosamente en muchos contextos de aprendizaje, y existen modelos matemáticos que garantizan su convergencia

bajo supuestos razonables. La función objetivo, promediada sobre todos los elementos de entrenamiento, puede verse como una superficie con picos en el espacio de valores correspondientes a los pesos. El vector de gradiente negativo indica la dirección de la máxima pendiente en la superficie, de esta manera lo lleva más cerca del mínimo en donde el error de salida es más bajo en promedio (sobre toda la muestra de ejemplos).

En la práctica, el método más utilizado es *stochastic gradient descent (SDG)*, el cual consiste en mostrar el vector de entrada a solo un subconjunto de ejemplos de entrenamiento, se calculan las salidas, errores y conforme a estos se modifican los pesos de la red para estos valores. Este proceso se repite para varios subconjuntos de ejemplos hasta que el promedio de la función objetivo deja de decrecer. Su origen estocástico se debe a que cada pequeño subconjunto de ejemplos da un estimado ruidoso sobre el promedio general sobre todos los ejemplos. Luego que la red fue entrenada, se evalúa su performance sobre un grupo de ejemplos llamado subconjunto de prueba. Esta evaluación nos permite analizar qué tan bien generaliza la red y cómo genera respuestas sobre ejemplos previamente desconocidos durante el entrenamiento.

## CONVOLUTIONAL NEURAL NETS (CNNs)

Una arquitectura clásica de *CowNet* está dada por dos etapas. La primera etapa se enfoca en extraer características discriminantes a distintos

niveles de abstracción, y la segunda se enfoca en la clasificación a partir de las características obtenidas previamente. La primera instancia está compuesta por dos tipos de capas: de convolución y *pooling*. En las capas de convolución, las unidades están organizadas en *feature maps* (mapas de atributos), en las cuales cada unidad está conectada a parches locales de los mapas perteneciente a la capa anterior mediante un conjunto de pesos, llamados banco de filtros. Todas las unidades dentro de un mapa comparten el mismo banco de filtros. Distintos mapas dentro de la misma capa usan diferentes filtros. Esta disposición tiene dos justificaciones. Por un lado, los datos en forma de arreglos (imágenes en nuestro caso) tienden a estar altamente correlacionados localmente, y por otro lado la estadística local de las imágenes es invariante respecto de su ubicación. La tarea de las capas de convolución es detectar conjunciones locales de características provenientes de la capa anterior, mientras que el rol de la capa de *pooling* es unificar semánticamente todas las características similares en una única característica. Comúnmente, una unidad perteneciente a una capa de *pooling* calcula el máximo de un parche local de unidades en uno o varios mapas. En la segunda etapa se cuenta con capas completamente conectadas (estas capas son similares a las que se encuentran en las redes neuronales convencionales) para establecer un *ranking* en la clase a la que pertenecen todas las características encontradas en la etapa anterior.

## CONVOLUCIÓN

La convolución es una operación matemática sobre dos funciones  $f$  y  $g$ , que obtiene una tercera función  $h$  () a partir de la integral del solapamiento de la función  $f$  sobre distintas traslaciones de  $g$ . Formalmente se define como:

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(T) g(t - T) dT$$

la cual se denota simplifcadamente como

$$h = f * g.$$

Además de ser una operación lineal, la convolución es el dual del producto bajo la transformada de Fourier, y por lo tanto tiene propiedades algebraicas similares al producto (asociatividad, conmutatividad, distributividad sobre la suma, etc.). En el procesamiento de imágenes la convolución se realiza entre toda la imagen (representada por la función  $f$  () arriba) y un *kernel*  $g$  (), usualmente de tamaño pequeño

(por ejemplo 3x3 o 5x5. En la [figura 3](#) se pueden ver algunos ejemplos.

La convolución posee propiedades de invariancia frente a traslaciones y rotaciones, lo cual es crítico en problemas de visión computacional, dado que, en un caso ideal, el resultado del reconocimiento no se debería ver afectado por este tipo de transformaciones en los objetos presentes en la imagen. Esta propiedad de invariancia fue determinante para el éxito de los algoritmos SIFT y SURF (Lowe, 1999; Bay et al., 2008). El uso de convoluciones en redes neuronales permite aprovechar esta invariancia, obteniéndose una performance superiora del estado del arte.

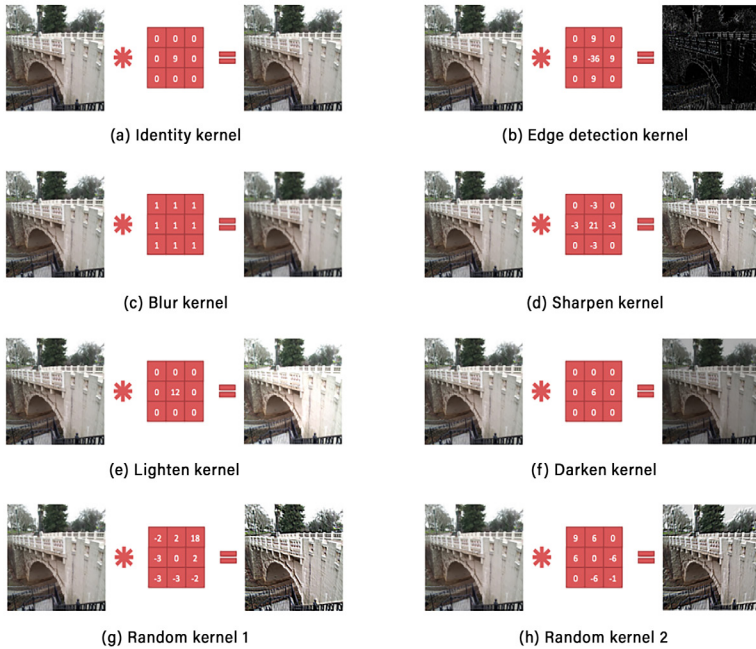
## CAPA DE CONVOLUCIÓN

En las CNNs, una capa de convolución aplica operaciones de convolución sobre sus elementos de entrada. Este tipo de capa está parametrizada por un conjunto de filtros. Los mapas de características son tomados como entrada y se les aplica una convolución con un conjunto de filtros para producir una pila de mapas de características como salida. La entrada de la capa  $n$  de la red puede ser desdoblada como un conjunto de  $K$  matrices  $X_{n-1}^{(k)}$ , con  $k = 1, \dots, K$ . Cada una de estas matrices representa diferentes entradas en forma de mapas de características. Los mapas de características de salida  $X_n^{(l)}$ , con  $l = 1, \dots, L$  son representados de la siguiente manera:

$$X_n^{(l)} = f \left( \sum_{k=1}^K W_n^{(k,l)} * X_{n-1}^{(k)} + b_n^{(l)} \right)$$

donde  $*$  representa el operador de convolución en dos dimensiones. Las matrices  $W_n^{(k,l)}$  representan los filtros de la capa  $n$  y  $b_n^{(l)}$  las bias para el mapa de características  $l$ . El mapa de características  $X_n^{(l)}$  se calcula como la suma de  $K$  convoluciones pertenecientes a los mapas de características de la capa anterior.

El término de sesgo o *bias*  $b_n^{(l)}$  puede ser reemplazado por una matriz  $B_n^{(l)}$ . Así, cada posición espacial en el mapa de características tiene asociado su propio bias independiente. Al reemplazar el producto de matrices con una suma de convoluciones, la conexión de las capas se restringe de forma eficiente, permitiendo aprovechar la naturaleza de los datos de entrada y reducir el número de parámetros a entrenar. Cada unidad está conectada a un subconjunto de unidades en la capa anterior, y cada una de



**Figura 3.** Ejemplos de distintos kernels de convolución aplicados a una misma imagen

Fuente: Wang y Raj, (2017)

estas unidades es replicada a lo largo de toda la entrada (Dieleman et al., 2015). Gracias a esta reducción de parámetros las CNN logran una mejor performance de generalización.

## KERNELS ALEATORIOS NO SUPERVISADOS

El costo computacional más alto del entrenamiento de una CNN es sin duda, el aprendizaje de las características. Cuando se realiza un entrenamiento supervisado con SGD, cada paso del gradiente requiere una propagación hacia adelante y hacia atrás sobre toda la red. Una manera de reducir el costo del entrenamiento es usar características (configuraciones de kernels) no entrenadas de forma supervisada. Hay varias técnicas para esto. Una de ellas es inicializar de forma aleatoria, otra es diseñar los kernels de forma manual, o bien colocar kernels para de-

teectar bordes en una cierta orientación o escala. Finalmente, la red también puede *aprender* en forma no supervisada qué kernels utilizar. (Coates et al., 2011) aplica un clusterizado *k-means* sobre pequeñas partes de la imagen, y luego usa cada centroide aprendido como kernel de convolución. Los kernels aleatorios han generado resultados exitosos recientemente (Jarrett et al., 2009; Saxe et al., 2011; Pinto et al., 2011). (Saxe et al., 2011) mostró que una capa de convoluciones seguida por una de *pooling* se vuelven selectivos a frecuencias espaciales (pasabanda) e invariantes a la traslación cuando se les asignan pesos aleatorios.

## CAPA DE POOLING

Este tipo de capas realiza un submuestreo, es decir, obtiene una reducción (a veces drástica) de las dimensiones de la entrada generando una salida de menor tamaño. Si la entrada es de

tamaño  $N \times N$  y el *pool* es de  $P \times P$ , entonces se subdivide la entrada en  $P \times P$  regiones de tamaño igual, y para cada celda del *pool* se elige un valor en función de su región correlativa de la entrada. Existen diferentes estrategias para este submuestreo. Una de ellas, conocida como *max-pooling*, toma el valor máximo de los valores de la región correlativa de entrada. Otra denominada *average-pooling* toma el promedio de dichos valores, de manera idéntica al submuestreo de primer orden en procesamiento de imágenes. El método de *probabilistic pooling* simplemente toma un valor al azar de entre los valores en la región de entrada correlativa (Lee et al., 2009). Esta operación se utiliza para reducir la dimensionalidad de los mapas de características. Las capas de *pooling* se ubican entre las capas de convolución (Boureau et al., 2010). La [figura 4](#) muestra un ejemplo de este proceso. El propósito principal de las capas de *pooling* es reducir el costo computacional en las capas posteriores, reduciendo el tamaño de los futuros mapas de características y otorgando una forma de invariancia traslacional.

## ARQUITECTURA DE CNN

Las arquitecturas de CNN suponen que los datos con los que se trabajará son arreglos multidimensionales. Gracias a esta suposición varias cualidades de los datos se pueden embeber en la arquitectura de la red. A diferencia de las redes neuronales convencionales, las CNN cuentan con unidades organizadas en tres dimensiones: ancho, alto y profundidad. Por ejemplo, en nuestro caso tenemos imágenes de  $96 \times 96$  píxeles en escala de grises, por lo que las dimensiones de nuestro volumen de entrada serían  $96 \times 96 \times 1$ . Un ejemplo comparativo entre redes neuronales convencionales y CNN se puede ver en la [figura 5](#).

## CONSIDERACIONES COMPUTACIONALES

El mayor cuello de botella a la hora de implementar una CNN es la memoria. Varias GPU's tienen el límite de 3,4 o 6 GB. Hay tres aspectos principales que determinan el consumo de memoria y que se deben chequear antes de construir una red:

1. Volúmenes de memoria intermediarios. Son los números en crudo de las funciones de activación en cada capa. Estos valores

son necesarios para el algoritmo de *backpropagation*.

2. Tamaño de parámetros. Estos valores representan los pesos de la red, sus gradientes durante el *backpropagation*, y normalmente un *cache* de los valores en la iteración anterior si se utiliza algún tipo de *momentum* como en nuestro caso.
3. Otros usos de memoria, como subconjuntos de imágenes, sus versiones aumentadas artificialmente, etc.

## CASOS DE ESTUDIO: LANDMARKING DEL PABELLÓN AUDITIVO

En esta sección se presenta el problema general del *landmarking* del pabellón auditivo, se detalla la configuración de *landmarks* utilizada junto con su definición bioantropológica. Luego, se continúa con la descripción del pipeline utilizado para el *landmarking* automático, incluyendo su diseño, implementación y pruebas realizadas para medir su desempeño. Además, se analiza la importancia de ciertos *landmarks* y su impacto sobre el factor discriminante de posibles vectores de características basados en *landmarks*. Finalmente, se presenta una aplicación directa del *landmarking* automático del pabellón auditivo, enfocada en la identificación de individuos a partir de *landmarking*, describiendo el modelo y los resultados obtenidos.

## CONFIGURACIÓN DE LANDMARKS

El pabellón auditivo humano se compone de una pieza de cartilago cubierto con la piel y unido al cráneo por ligamentos, músculos y tejido fibroso. Este cartilago no se extiende al lóbulo de la oreja, el cual en cambio consiste principalmente de tejido areolar y adiposo. Existe una gran variación no patológica entre humanos en la forma y tamaño del pabellón auditivo, influenciada por edad, género y etnicidad (Azaria et al., 2003; Sforza et al., 2009; Alexander et al., 2011; Adhikari et al., 2015). La variación en el pabellón auditivo fue analizada utilizando 7 *landmarks* y 38 *semi-landmarks*. La configuración específica utilizada se puede ver en la [figura 6](#) y su definición anatómica en la [tabla 1](#). Además de la configuración de *landmarks*, se pueden derivar otro tipo de medidas, por ejemplo, distancias Euclidianas entre *landmarks* y *semi-landmarks* (Purkait y Singh, 2008), o ángulos de interés anatómico.

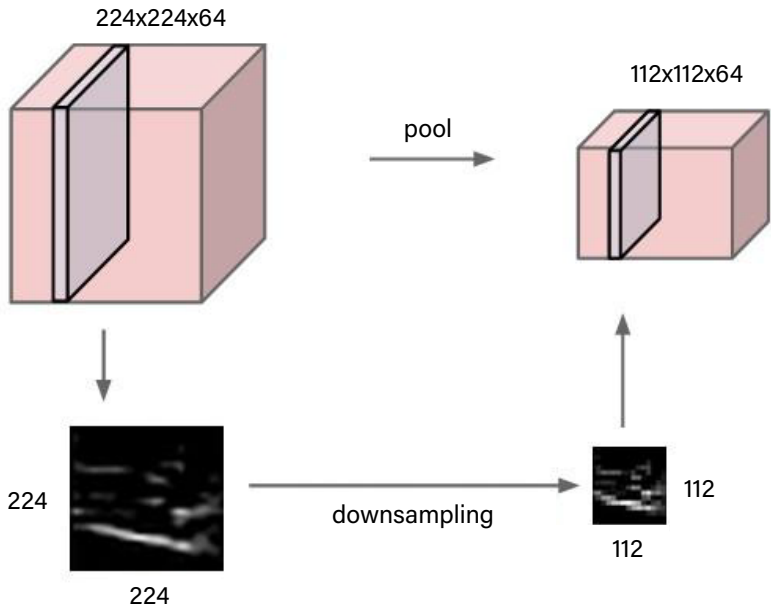


Figura 4. Ejemplo de resultados al agregar capas de pooling

Fuente: <http://cs231n.github.io/convolutional-networks/>

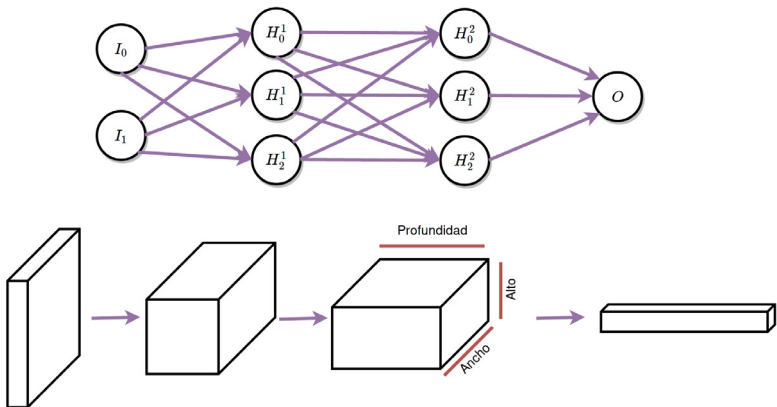


Figura 5. Comparación de Arquitecturas de redes del estilo CNN (abajo) y redes neuronales convencionales (arriba)

Fuente: Elaboración propia

Éstas son algunas medidas que pueden tomarse para su utilización en un vector robusto de características para otras aplicaciones, como por ejemplo la biometría.

## CONJUNTO DE DATOS

Para el procesamiento de las imágenes de orejas se trabajó con 2735 pares de datos de forma (*image, landmarks*). Las imágenes sin coordenadas de *landmarks* manuales asociados fueron excluidas. Cada tupla estaba compuesta por una imagen de 2136x3216 píxeles y por una lista de 45 *landmarks* y *semi-landmarks*, más arriba. Del conjunto de datos utilizado, se designaron 2051 imágenes para el entrenamiento (75 %), y 684 imágenes (25 % de todo el conjunto de datos disponible) para la etapa de validación, seleccionados bajo validación cruzada. En algunas imágenes se cuenta con orejas parcialmente cubiertas por cabello, aretes o en que el fondo no es uniforme, estas imágenes fueron utilizadas para probar la robustez de nuestros métodos sobre esta clase de ruido semántico.

## PIPELINE DESARROLLADO

La idea principal consiste en diseñar y entrenar una CNN con un conjunto de ejemplos de orejas asociadas con las coordenadas en dos dimensiones ( $x,y$ ) de sus *landmarks* provistas por expertos humanos, y una ROI remuestreada y normalizada donde se encuentre el pabellón auditivo. Este sistema funciona como un regresor, que a partir de la imagen original del pabellón auditivo interpola los 45 pares ( $x,y$ ) de los *landmarks* y *semilandmarks* buscados. Se entrenó una CNN con un conjunto de 2735 imágenes asociadas con 45 *landmarks* y *semilandmarks* ubicados manualmente. Se utilizaron técnicas específicas de entrenamiento para lograr tasas de generalización altas para evitar sobreajuste. En esta sección detallamos todos los pasos del proceso, y por cada paso, describimos los formalismos utilizados.

**Tabla 1.** Configuración y definición anatómica de *landmarks* y *semi-landmarks* en el pabellón auditivo humano

Número	Nombre
1	Otobasion superiorious
2	Concha superiorious
3	Tragus superiorious
4	Intertragic incisure
5	Otobasion inferiorious
6	Helix basal border
7	Crus Helix
8 a 45	Semi-landmarks

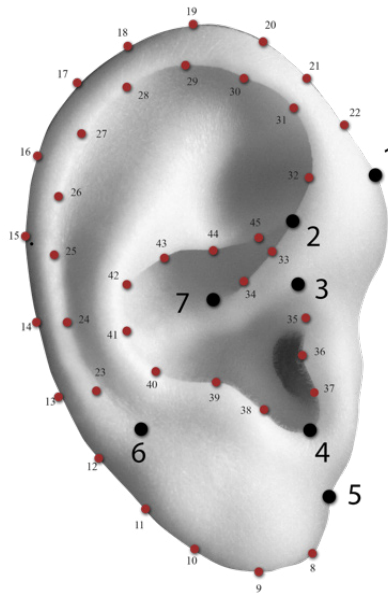
Fuente: *Elaboración propia*

## PRE-PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES

Para reducir la carga de procesamiento innecesario en la ConvNet, se extrae una región de interés (ROI) alrededor de la oreja. Para la ubicación de esta región se utilizó el *framework* de detección general de objetos de Viola-Jones (Viola y Jones, 2001), para lo que fue entrenado un filtro *Haar cascade* con 133 imágenes positivas (regiones donde aparece la oreja) y 667 negativas<sup>11</sup>. Para validar este paso de pre-procesamiento, se tomaron de forma aleatoria 185 imágenes del conjunto de datos de CANDELA<sup>12</sup>. En el 92.43% de los casos la ROI fue encontrada correctamente, en el 1.62% la ROI no fue encontrada y en el 5.95% de los casos fue ubicada incorrectamente. Luego de que la ROI fue encontrada, se recorta en forma cuadrada teniendo en cuenta los tamaños de alto y ancho de cada ROI, se aplica una equalización del histograma por estiramiento (*histogram stretch*), mediante el cual los valores de luminancia en la ROI se alteran para cubrir la mayor parte del rango dinámico disponible. Los parámetros de estiramiento del histograma fueron programados para convertir en negro el 2% de los píxeles y a blanco el 1% de los píxeles como máximo en ambos casos. Como último paso, la ROI se remuestrea al tamaño final utilizado por

11 El Haarcascade entrenado puede ser descargado y utilizado desde [https://github.com/celiacintas/tests\\_landmarks/blob/master/files/cascade\\_lateral\\_ears.xml](https://github.com/celiacintas/tests_landmarks/blob/master/files/cascade_lateral_ears.xml)

12 <https://www.ucl.ac.uk/candela/project-information>



**Figura 6.** Configuración de *landmarks* y *semi-landmarks* junto con su descripción

Fuente: Purkait y Singh (2008) y Ercan et al., (2008)

la CNN, el cual es de  $96 \times 96$  pixels, mediante el uso de submuestreo bilineal. En la **figura 7** se pueden observar el efecto de estos pasos.

## PRE-PROCESAMIENTO DE LANDMARKS

Los *landmarks* supervisados fueron generados manualmente por expertos utilizando el software TPSdig. Este programa ubica el origen en el extremo superior izquierdo, por lo que, por comodidad a la hora de implementación, antes de realizar cualquier modificación se invirtieron en el eje y todas las coordenadas para contar con el origen en la parte inferior izquierda.

Estas coordenadas se encuentran en el espacio de la imagen completa original de  $2136 \times 3216$  pixeles. Estas coordenadas se tuvieron que trasladar dentro del espacio de la ROI y ser escaladas por el mismo factor utilizado en la etapa de pre-procesamiento de la imagen visto en la sección previa. En términos generales se aplicaron las siguientes funciones:

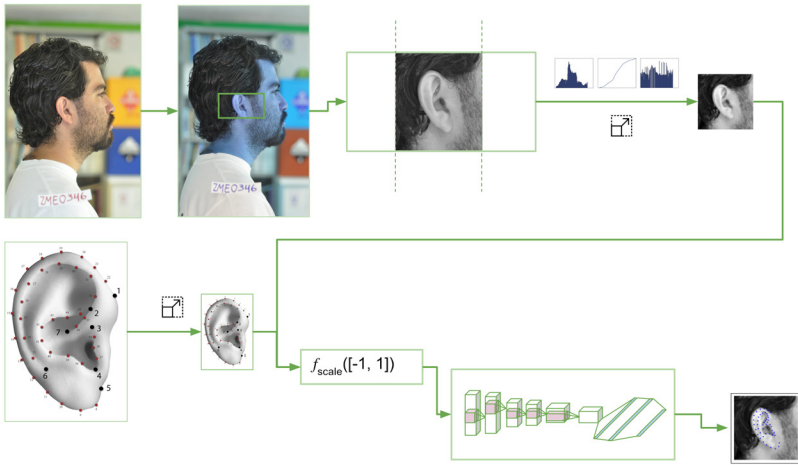
$$(x_{new}, y_{new}) = ((x_{old} - x_{supizq})/dx, (y_{old} - y_{infder})/dy)$$

donde  $x_{old}$  y  $y_{old}$  son las coordenadas originales respecto a la imagen completa,  $x_{supizq}$  es la posición  $x$  de la esquina superior izquierda del rectángulo correspondiente a la ROI e  $y_{infder}$  es la coordenada  $y$  de la esquina inferior derecha del mismo. Los factores de escala se mantuvieron como variables diferentes, dado que, si se utiliza la imagen completa al no ser cuadrada, los factores serán distintos.

## ELECCIÓN DE ARQUITECTURA

Fueron implementadas y puestas a prueba varias arquitecturas de CNN, en esta sección mostraremos las tres que obtuvieron mejores resultados.

Estas arquitecturas fueron diseñadas y entrenadas con el propósito de realizar *landmarking* automático, detectar e identificar partes anatómicas del pabellón auditivo sobre imágenes de orejas, desde la vista lateral en escala de grises (un único canal) de  $96 \times 96$  pixeles, estos valores fueron escalados a  $[0, 1]$ . En la **figura 8** se puede observar la arquitectura de la red con me-



**Figura 7.** Visión general del Pipeline desarrollado para *landmarking* automático sobre la estructura del pabellón auditivo

Fuente: Elaboración propia

por desempeño (denominada *Arch0*). La estructura básica de la red consiste en dos capas de convolución con filtros cuadrados, seguidos de capas *max-pooling* y *dropout*. Esta estructura se repite tres veces para obtener características en distintos niveles de abstracción, con diferentes tamaños de filtros, cantidad de mapas de características y valores de probabilidad para las capas de *dropout*. Siguiendo la **figura 9**, las capas de convolución C1, C2, C5 Y C6 tienen 32 filtros de  $4 \times 4$  y  $3 \times 3$ . Se puede ver un ejemplo de los kernels generados por C1 y sus respectivos mapas de características ante una determinada imagen en la **figura 10**. Las capas C9 y C10 cuentan con 64 filtros de  $3 \times 3$ . Todas las capas de *max-pooling* cuentan con un tamaño de  $2 \times 2$ , y los valores de probabilidad utilizados para D4, D8, D12 y D14 son 0.1, 0.2, 0.3 y 0.5 respectivamente. Luego de que se finaliza con la extracción de características, la arquitectura contiene dos capas lineales completamente conectadas, con 1500 unidades cada una (F13 y F15 en la **figura 8**), y una capa *dropout* en el medio (D14). La capa de salida cuenta con 90 unidades (45 pares  $[x, y]$ )

uno para cada posición predicha de *landmarks* y *semi-landmarks*.

La implementación<sup>13</sup> fue realizada en Python (Oliphant, 2007; van der Walt et al., 2011) mediante la biblioteca Lasagne (Dieleman et al., 2015). A continuación, podemos ver una estructura de CNN programada en Python con Lasagne como ejemplo. Más detalles sobre la implementación de CNN en Python puede observarse en el repositorio.

Esto nos permite el uso de aceleración mediante GPU<sup>14</sup> de una forma sencilla. El entrenamiento de esta red tomó 25 horas aproximadamente sobre una placa NVIDIA GeForce GTX 590. Una vez entrenada, la red puede ser utilizada en hardware convencional, incluso en sistemas embebidos.

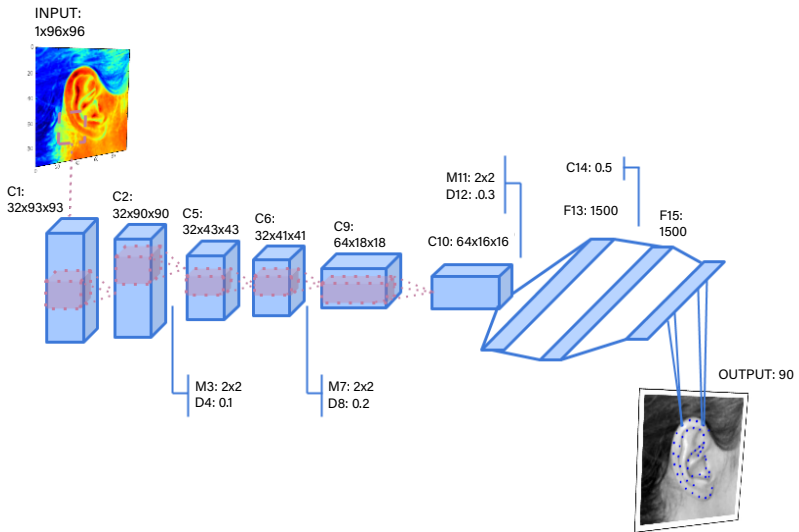
### PROBLEMAS DE SOBREAJUSTE

Normalmente las redes neuronales convolucionales cuentan con un número muy grande de parámetros a *aprender* 8.662.970 en el pabellón auditivo. Debido al limitado tamaño de nuestro

13 El código se encuentra disponible en [https://github.com/celiacintas/tests\\_landmarks/blob/master/testing/output\\_ears.ipynb](https://github.com/celiacintas/tests_landmarks/blob/master/testing/output_ears.ipynb)

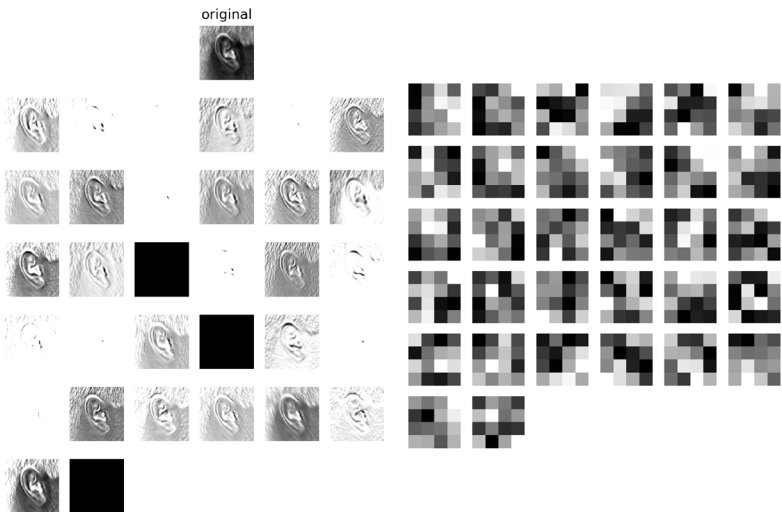
14 Unidad de procesamiento gráfico o GPU (Graphics Processing Unit).





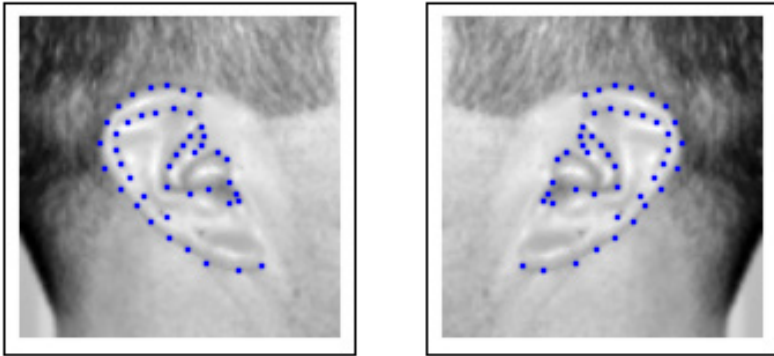
**Figura 8.** Arquitectura general de la CNN con mejor performance

Fuente: Elaboración propia



**Figura 9.** Kernels y mapas de características de la capa C1 sobre una imagen de entrada X.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 10.** Landmarks asociados a una fotografía espejada sobre el eje x durante la etapa de entrenamiento de la red.

Fuente: Elaboración propia

conjunto de entrenamiento, contamos con grandes probabilidades de experimentar *overfitting* o sobre ajuste. La red tenderá a memorizar los ejemplos dados en la etapa de entrenamiento, ya que tiene memoria suficiente para hacerlo. Esto, obviamente, no generalizará de forma deseada ante nuevos datos. Se tomaron dos medidas para reducir el efecto de *overfitting* durante la etapa de entrenamiento.

1. Incremento de datos: De forma artificial aumentamos el  $N$  de muestras, mediante el uso de transformaciones que preservan el valor de  $y$  (siendo  $y$  la clase objetivo). De forma aleatoria, algunas imágenes y sus *landmarks* asociados son espejados sobre sus coordenadas  $x$  y agregados al set de entrenamiento. Un ejemplo de esto se puede ver en [figura 10](#).
2. Regularización: La complejidad del modelo fue penalizada utilizando *dropout* (Hinton et al., 2012), básicamente consiste en anular salidas de unidades de capas ocultas con una cierta probabilidad. Esta técnica reduce adaptaciones complejas entre unidades de capas, ya que, en etapa de entrenamiento, una unidad no puede depender de la activación de otra unidad en particular (Krizhevsky et al., 2012).

## RESULTADOS SOBRE LANDMARKING AUTOMÁTICO EN PABELLÓN AUDITIVO

El problema de ubicación de *landmarks* en forma automática puede ser pensado como un problema de regresión. Al usar este enfoque aplicamos métricas para evaluar el desempeño de diferentes CNNs contra *landmarking* manual (*ground truth*). En particular se trabajó con  $r^2$ , *root mean square error* (RMSE), variancia explicada (EV) y correlación de Pearson.

El desempeño del *landmarking* de las tres arquitecturas implementadas se puede observar en la [tabla 2](#). Se utilizó como línea de base un regresor básico que tiene como política predecir el promedio de los valores de entrenamiento, el cual cuenta con un  $r^2 = 0,003$ . En la [tabla 3](#) se detalla los RMSE para cada coordenada de *landmark*.

Las métricas de regresión fueron calculadas utilizando las técnicas implementadas en (Pedregosa et al., 2011). También se pueden observar en la [figura 11](#) las curvas de aprendizaje sobre los datos de entrenamiento y validación de las tres arquitecturas. La [figura 12](#) muestra los *landmarks* predichos sobre imágenes no vistas por la red en el conjunto de validación. Se puede observar que alguna de estas imágenes cuenta con obstrucción parcial de cabello, pese a lo cual el *landmarking* es correcto. En las [figuras 13 y 14](#) se pueden observar resultados de la misma red apli-

**Tabla 2.** Desempeño de las tres arquitecturas CNNs

	Arch0	Arch1	Arch2
	0.709	0.678	0.698
<b>RMSE</b>	2.296	2.415	2.338
<b>EV</b>	0.976	0.974	0.975
<b>Pearson</b>	0.988	0.987	0.988

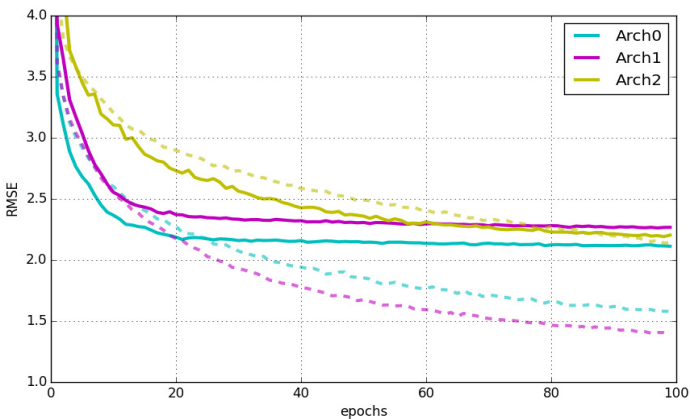
Fuente: Elaboración propia

cada a conjuntos de datos externos, en particular AMI y IIT Delhi dataset.

**Tabla 3.** RMSE de cada landmark anatómico

# Landmark	RMSE
1	1.8183
2	1.2216
3	1.0865
4	1.3291
5	2.4477
6	2.5974
7	1.1757

Fuente: Elaboración propia

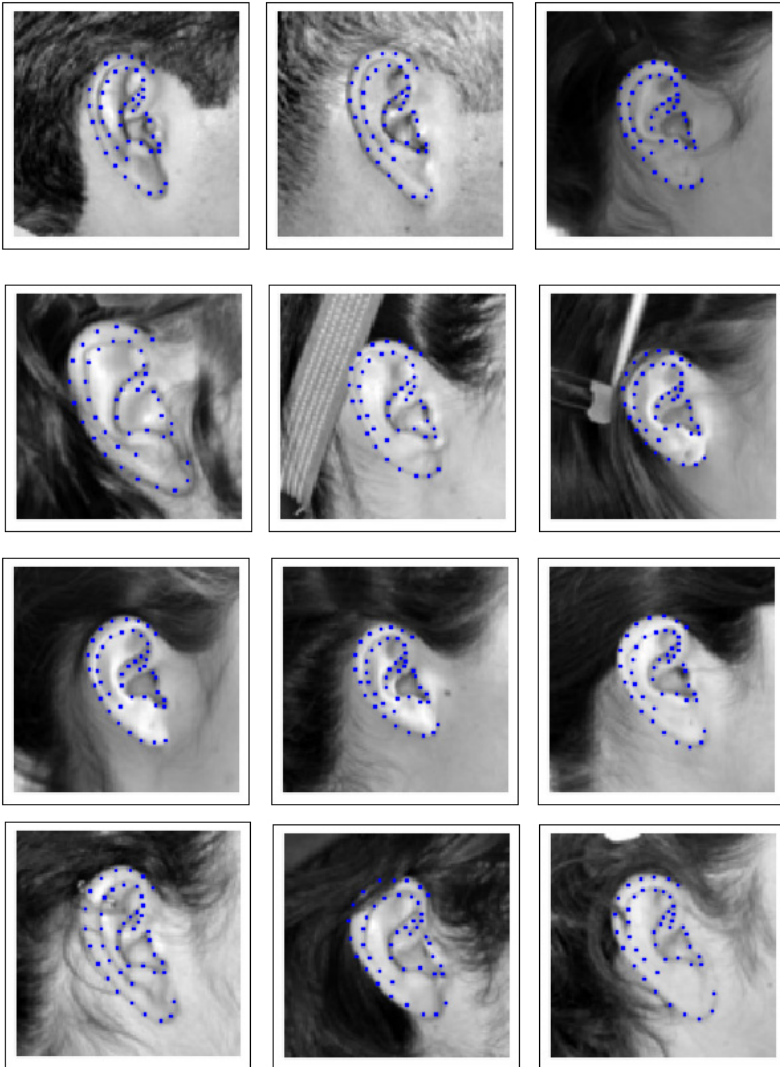

**Figura 11.** Curvas de aprendizaje de CNNs analizadas en la tabla 2.

Las líneas punteadas representan el RMSE sobre los valores de entrenamiento, y las líneas sólidas representan el error sobre el conjunto de validación de las tres redes.

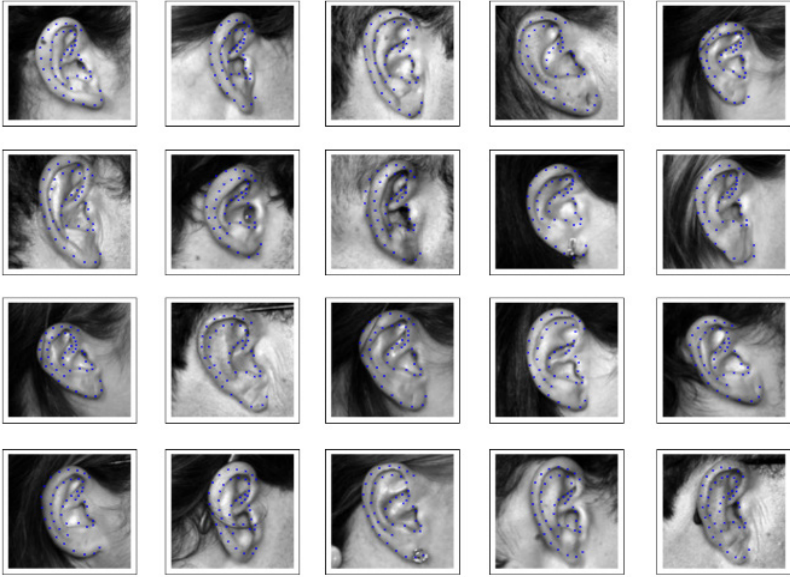
Fuente: Elaboración propia

El conjunto completo de imágenes de validación con *landmarking* realizado por la CNN puede verse a pie de página<sup>15</sup>. También se entrenaron redes para trabajar sobre la imagen completa, eliminando la búsqueda de ROI. En promedio, los resultados obtenidos fueron  $r^2 =$

<sup>15</sup> [https://github.com/celiacintas/tests\\_landmarks/blob/master/testing\\_output\\_ears.ipynb](https://github.com/celiacintas/tests_landmarks/blob/master/testing_output_ears.ipynb)



**Figura 12.** Resultados de nuestra mejor red sobre imágenes no vistas en la etapa de entrenamiento.  
 Fuente: Cintas et al., (2016).



**Figura 13.** Resultados de la mejor arquitectura sobre imágenes pertenecientes a la base de datos AMI

Fuente: [http://www.ctim.es/research\\_works/ami\\_ear\\_database/](http://www.ctim.es/research_works/ami_ear_database/)

0.884,  $RMSE = 1.365$ ,  $EV = 0.951$  y *Correlación de Pearson* = 0.976, para *landmarking* sobre imágenes completas.

Algunos resultados sobre conjuntos de datos externos a CANDELA se pueden ver en la [figura 15](#). Si bien no se contaba con los *landmarks* para realizar métricas comparativas, se puede observar potencial sobre imágenes de otras fuentes externas a las de entrenamiento y validación. El *landmarking* fue evaluado además bajo imágenes menos controladas. Para esto se tomó de forma aleatoria un subconjunto de las imágenes de CANDELA de cara completa, sin iluminación controlada, fondo heterogéneo, etc.; los resultados se pueden ver en la [figura 16](#).

La red fue implementada en una PC de hardware convencional (single core Intel i7-5500 2.40GHz). El *landmarking* automático de una imagen requiere 4.68 milisegundos. Por otro lado, el *landmarking* en modo *batch* de 684 imágenes demoró 1.04 segundos. En estas prue-

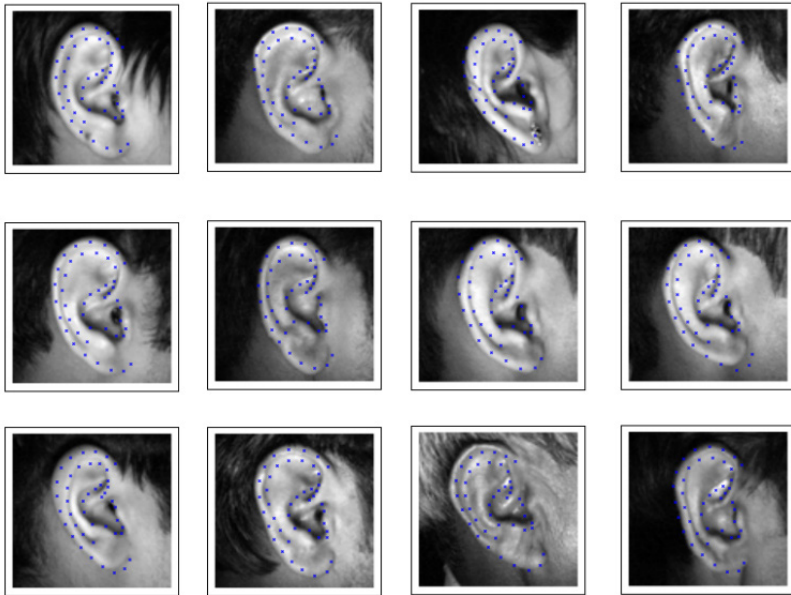
bas se decidió trabajar con la ROI de la oreja para disminuir la pérdida de información, pero es posible entrenar diferentes redes para trabajar con la imagen del rostro completo, en la cual las orejas se pueden ubicar sin ningún problema. A pie de página<sup>16</sup> se encuentran las pruebas y arquitectura de la red implementada sobre *ipython notebooks*, y la red entrenada se puede descargar y usar en el [link](#) abajo citado<sup>17</sup>.

## BIOMETRÍA Y APLICACIONES FORENSES

Aunque el propósito principal de este trabajo era mostrar el potencial combinado de morfometría geométrica junto con *Deep Learning*, realizamos algunos experimentos previos, para evaluar si el *workflow* presentado podría ser utilizado con fines de reconocimiento. Para esto, agregamos un *Extremely Randomized Tree (ERT)*, como una última etapa de clasificación. Los ERTs son ár-

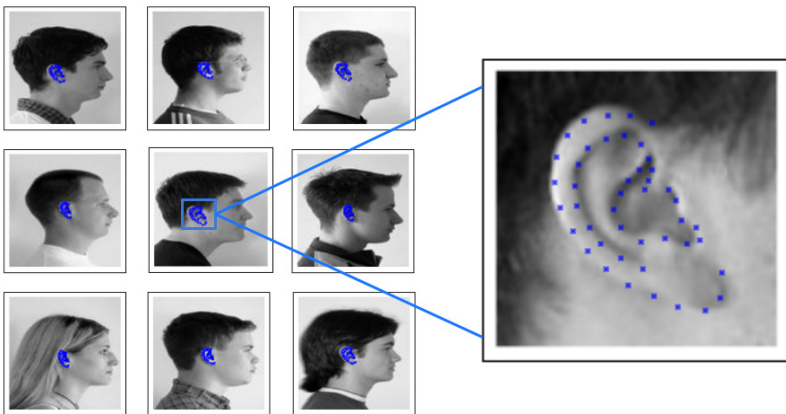
<sup>16</sup> [https://github.com/celiacintas/tests\\_landmarks/blob/master/testing\\_output\ears.ipynb](https://github.com/celiacintas/tests_landmarks/blob/master/testing_output\ears.ipynb)

<sup>17</sup> <https://mega.nz/\#FIXA8i1jBaHaZQijToUYnrf8xMnhWDlw>



**Figura 14.** Resultados de la mejor arquitectura sobre imágenes pertenecientes a la base de datos IIT Delhi.

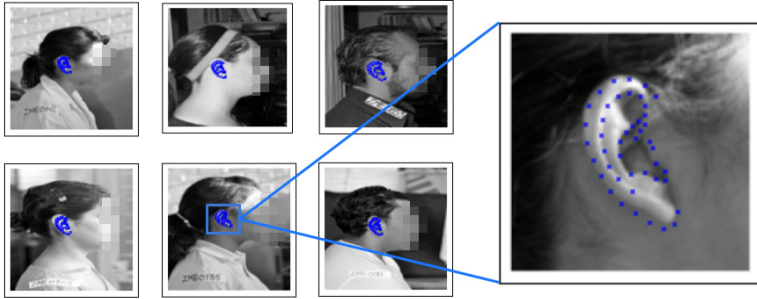
Fuente: Kumar y Wu, (2012)



**Figura 15.** Resultados sobre imágenes seleccionadas de forma aleatoria de CVL Face Database<sup>1</sup>

Fuente: Solina et al., (2003) presentados en Cintas et al., (2016).

<sup>1</sup> <http://www.lrv.fri.uni-lj.si/facedb.html>



**Figura 16.** Resultados sobre imágenes seleccionadas de forma aleatoria en el conjunto de datos de CANDELA con fondo e iluminación no controlada

Fuente: Cintas et al., (2016)

boles de clasificación (o regresión), en los cuales los atributos y opciones de corte son parcial o totalmente aleatorios, a la hora de ramificarse en un nuevo nodo durante entrenamiento (Geurts et al., 2006). En un caso extremo, un ERT, construye árboles de clasificación aleatorios, cuyas estructuras son independientes de los valores de salida de elemento de entrenamiento.

## TRABAJOS PREVIOS

La identificación automática de estructuras anatómicas de interés biométrico, tales como huellas digitales o patrones del iris, son utilizadas ampliamente en sistemas de control de acceso, investigación antropológica y hasta en contextos de vigilancia. Estas estructuras tienen como desventaja que para la toma de estas se requieren de métodos intrusivos para su obtención. Sobre este tema, tanto la vista lateral (o frontal) del rostro como la estructura del pabellón auditivo tienen varias ventajas, no sólo en que la información puede ser capturada a distancia con métodos no intrusivos (una fotografía) sino también porque el pabellón auditivo tiene menor varianza con la edad, y no es afectado por expresiones faciales. La evidencia empírica relacionada con el carácter único e individual del pabellón auditivo fue presentada por (Iannarelli, 1989). Por otro lado, en la mayoría de las propuestas en el estado del arte la captura de los atributos fenotípicos y forma de la oreja se basan en técnicas *ad hoc* que limitan su aplicación.

La mayoría de los algoritmos de detección de pabellón auditivo dependen de propiedades geométricas de la parte externa de la oreja, como la ocurrencia de ciertos bordes, orientaciones de curvas o frecuencia de patrones (Pflug y Busch, 2012). Un trabajo detallado de todos los métodos hasta el momento sobre reconocimiento e identificación de pabellón auditivo puede ser encontrado en (Pflug y Busch, 2012). Como veremos a continuación, ese sector del pabellón es precisamente el menos informativo desde el punto de vista de la identificación. Uno de los métodos más utilizados son los modelos de forma. Estos modelos buscan reconocer distribuciones de índices de forma característicos del objeto en estudio, en este caso puntual, la superficie de la oreja. Por ejemplo, (Chen y Bhanu, 2005), propusieron detectar regiones de la imagen con curvaturas locales grandes. A esta técnica la denominaron *step edge magnitude*. Luego se aplica un *template matching* con formas típicas del contorno externo de la oreja (outer helix and anti-helix). En Chen y Bhanu, (2007) se redujo la cantidad de orejas candidatas detectando regiones de piel antes de realizar el *template matching*.

Una aplicación similar, basada en el análisis de forma fue (Attarchi et al., 2008). En este trabajo se utilizan contornos para la detección de la oreja. Primero se ubica el contorno exterior de la oreja, buscando el borde interconectado más largo en la región de interés. Una vez ubicado, se realiza un triángulo de referencia basado en los puntos extremos del contorno. Finalmente, se utilizan propiedades del triángulo, con el ba-

ricentro, como un punto de referencia para el alineamiento de la imagen. Por otro lado, Ansari y Gupta, (2007) propuso el uso de las propiedades de los bordes, como por ejemplo concavidad o convexidad, para determinar localmente las partes de la oreja. De manera similar, Prakash y Gupta, (2012) combinan segmentación de piel y bordes jerárquicos. Luego de detectados los bordes ubicados sobre regiones con piel, éstos son fraccionados en segmentos. En base a estos segmentos se crea un grafo de conectividad, integrando todos estos segmentos obtenidos previamente. Este grafo es utilizado para computar el *convex hull* del conjunto de segmentos que determinan la forma externa de la oreja.

Un aporte significativo se puede encontrar en (Yan y Bowyer, 2007), quienes desarrollaron un método de detección de orejas. Este método comienza detectando la concha (parte anatómica interna de la oreja, ver en [figura 6](#)), la cual es utilizada como punto inicial para *Active Shape Model* (ASM), el cual es utilizado finalmente para determinar el contorno externo de la oreja. Todos los métodos mencionados anteriormente tienen como desventajas que se tratan de aproximaciones *ad-hoc*, requiriendo una ingeniería de características muy específica, sumado a la falta de invariancia bajo homografías y cambios de luminancia, lo cual los hace muy poco robustos para trabajar en ambientes no controlados.

Además de los métodos de forma extensamente utilizados, se encuentran otras aproximaciones que se basan en ideas de reconocimiento de patrones. Entre ellas, podemos mencionar (Abaza et al., 2010) y (Islam et al., 2008), los cuales utilizan clasificadores débiles basados en *Haar-wavelets* sobre regiones de las imágenes para encontrar correlaciones con patrones aprendidos previamente. Estos clasificadores débiles son combinados con *AdaBoost* (Freund, 1999), para la ubicación de la oreja. Estos enfoques, contienen un *workflow* más robusto, ya que dividen la etapa de procesamiento de imágenes de la de identificación, tomando la ventaja de los beneficios asociados a los métodos de reconocimiento de patrones.

## IDENTIFICACIÓN BASADA EN LANDMARKS Y ERT

Se ha demostrado que los bosques aleatorios (*random forests*) alcanzan una exactitud tan buena como *Adaboost* y algunas veces mejor.

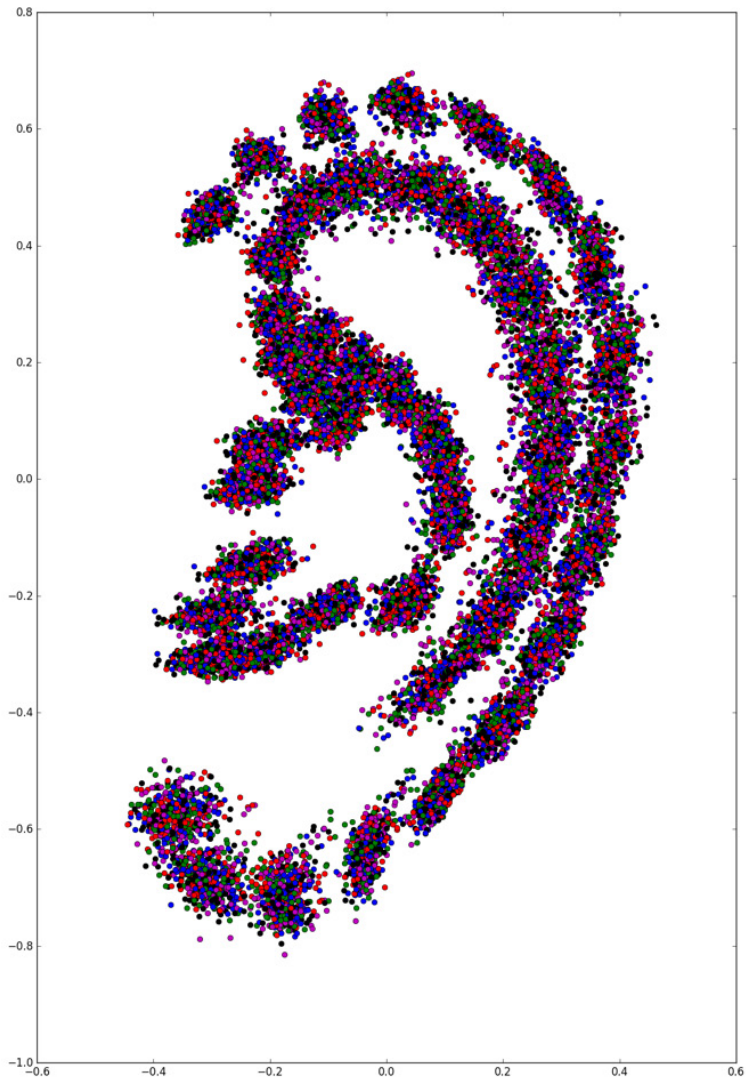
Además, el modelo de aprendizaje es relativamente más robusto frente a valores atípicos y ruidosos. Proporciona estimaciones internas de error, correlación e importancia de variables. Su entrenamiento es mucho más rápido que otros métodos como *bagging* o *boosting* (Dietterich, 2000). Es además simple y fácil de paralelizar (Breiman, 2001). Los *extremely randomized trees* (ERT) son árboles de clasificación (o regresión) en los cuales los atributos y opciones de corte son parcial o totalmente aleatorios, a la hora de ramificarse en un nuevo nodo durante entrenamiento (Geurts et al., 2006). En un caso extremo, un ERT construye árboles de forma totalmente aleatoria. Estas estructuras son independientes del valor de salida de la muestra de entrenamiento. El beneficio de esta aleatoriedad radica en que se pueden afinar comportamientos específicos mediante una apropiada parametrización.

Se entrenó un ERT con la configuración de *landmarks* de 1458 individuos. Cada individuo cuenta con 4 o 6 imágenes contando ambas orejas. Se trabajó con un total de 8354 imágenes con *landmarks* generados automáticamente utilizando la red detallada en secciones anteriores. Luego se aplicó *Generalized Procrustes Fit* para eliminar efectos de traslación, escala y rotación en las coordenadas de *landmarks*. En la [figura 17](#), se puede visualizar un subconjunto de orejas utilizadas en el entrenamiento. El conjunto de datos de entrenamiento cuenta con 6683 vectores de características  $v_i$ , formados por los 45 *landmarks* generados automáticamente  $v_i = [x_0, y_0, \dots, x_{44}, y_{44}]$ , y un valor  $t$  con la etiqueta asociada a el individuo. Las 1671 muestras restantes fueron resguardadas para realizar evaluaciones de performance. Los valores de reconocimiento obtenidos fueron (en promedio: *precision* 0.95, *recall* 0.90, *f1-score* 0.91 y *adjusted rand score* 0.93).

La matriz de confusión sobre un conjunto de datos de evaluación puede observarse en la [figura 18](#), y la curva ROC calculada puede visualizarse en la [figura 19](#). Para la evaluación se realizó un *K-fold* estratificado con 10 iteraciones y un tamaño de prueba del 20% de la muestra. El valor promedio de exactitud fue del 0.9114 con un desvío estándar de 0.0146. El valor para cada *fold* puede verse en detalle en la [tabla 4](#).

Los árboles de decisión son especialmente útiles a la hora de generar introspección sobre los datos, como éstos son clasificados, y la importancia de cada parámetro en el vector de ca-





**Figura 17.** Landmarking de 500 orejas de la muestra CANDELA, luego de la transformación de Procrustes.

Fuente: Cintas et al., (2016)

racterísticas. Podemos obtener valores de pesos relativos o medir la importancia de cada dimensión en el espacio de características (Wehenkel et

al., 2006). Gracias a esta propiedad fue posible analizar la contribución relativa de cada *land-*

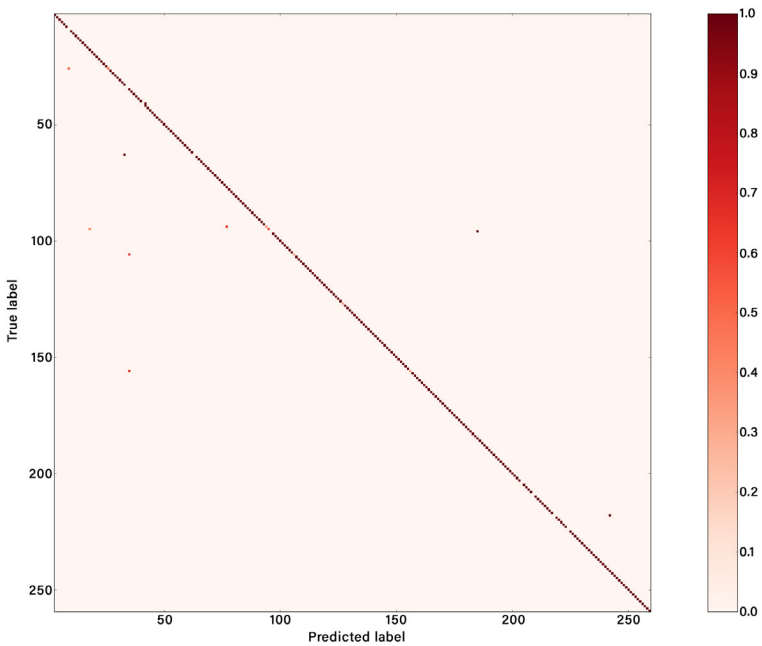


Figura 18. Matriz de confusión en el subconjunto de individuos id 5 al 248

Fuente: Cintas et al., (2016)

Tabla 4. Accuracy del ERT en cada fold de entrenamiento

Accuracy Score	Fold
0.91202873	1
0.90125673	2
0.90125673	3
0.92040694	4
0.91083184	5
0.90604428	6
0.91322561	7
0.92339916	8
0.90724117	9
0.91861161	10

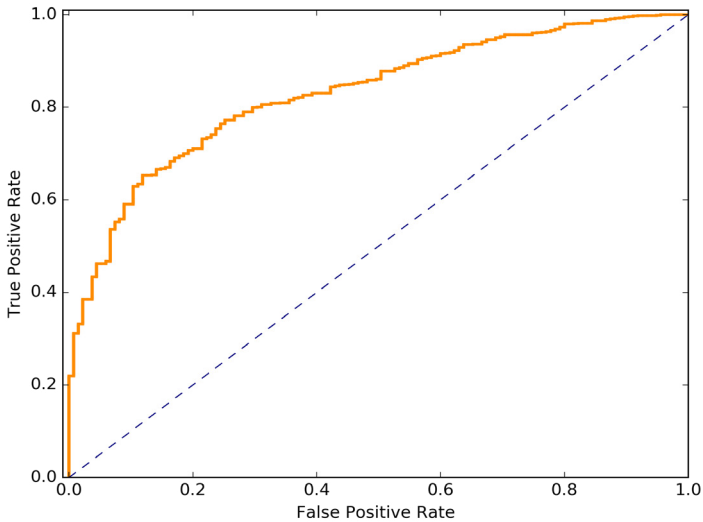
Fuente: Elaboración propia

mark en el proceso de reconocimiento, el detalle de las coordenadas.

La lista de las diez características más importantes se puede ver en la tabla 5. Como resultado se observó que las coordenadas de landmarks más importantes a la hora de selección corresponden a la parte anatómica interna de la oreja, lo cual sugiere que esta estructura es más informativa que la estructura externa (contorno de la oreja) a la hora de su uso como un posible valor discriminante.

### UBICACIÓN DE OREJAS SOBRE IMÁGENES FACIALES (CNN VS. VIOLA JONES)

Como se detalló anteriormente, en un comienzo se utilizó el método de (Viola y Jones, 2001) para ubicar las ROI en donde se encontraba la oreja, para aumentar la resolución del landmarking y no llevar partes innecesarias de la imagen a la



**Figura 19.** Curva ROC de identificación de individuos basados en la configuración de *landmarks* de pabellón auditivo

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.** Peso relativo de coordenadas de *landmarks* en el proceso de reconocimiento.

Peso (en %)	# Landmark
1.5127	42
1.4552	36
1.4467	3
1.4442	43
1.3910	5
1.3798	40
1.3739	39
1.3671	35
1.3648	2
1.3641	1

Para una referencia visual de la ubicación de los *landmarks* se puede ver la [figura 7](#)

Fuente: Elaboración propia

CNN. A partir del trabajo (Cintas et al., 2016), se realizaron pruebas sobre la imagen completa para realizar *landmarking*. Si bien la calidad de este decrece, ya que se pierden detalles de la morfología del pabellón auditivo dada la resolución de la imagen, se puede usar como un detector de ROI dentro del rostro, utilizando la ubicación de los *landmarks* encontrados para calcular una ROI aproximada. En la [tabla 6](#) se puede ver una comparación de cantidad de ubicaciones de ROI correctamente ubicadas, no encontradas y ubicadas incorrectamente. Algunas imágenes con *landmarks* sobre el rostro completo se pueden observar en la [figura 20](#), en la esquina inferior se pueden ver algunas imágenes con *landmarks* posicionados incorrectamente.

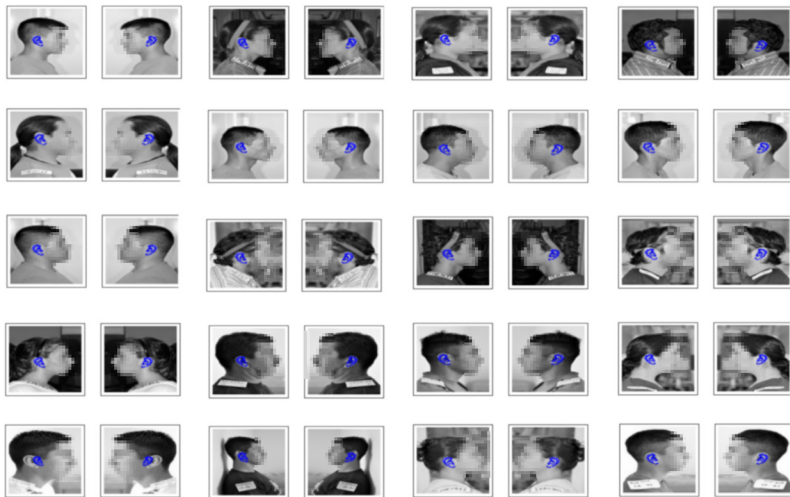
Para validar este paso de pre-procesamiento, se tomaron de forma aleatoria 185 imágenes del conjunto de datos de CANDELA, en el 92.43 % de los casos la ROI fue encontrada correctamente, en el 1.62 % la ROI no fue encontrada y en el 5.95 % de los casos fue ubicada incorrectamente.

## CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La ubicación de *landmarks* sobre estructuras faciales, es un paso intermedio muy importante para muchas operaciones subsiguientes de análisis antropométrico, desde aspectos biométricos (Lanitis et al., 1995; Wiskott et al., 1997; Campadelli et al., 2003), la animación facial (Kang Liu et al., 2008), la interacción hombre-máquina, la determinación del punto de mirada, la comprensión de expresiones faciales (Tian et al., 2001; Pantic y Rothkrantz, 2000), la reconstrucción 3D de rostros (Ying et al., 2006), los videojuegos, y estudios de antropología biológica (Quinto-Sánchez et al., 2015; Quinto-Sánchez et al., 2017; Paschetta et al., 2016). En el caso del rostro humano, se trata de una geometría compleja, compuesta por varios órganos, incluyendo piel, músculos, ojos, nariz, orejas, boca, etc., donde además la dominancia morfométrica es debida a los tejidos blandos. Dadas sus funciones biológicas principales, el rostro humano es un tópico central en varias investigaciones, con un amplísimo rango de aplicaciones, incluyendo, antropología (Gómez-Valdés et al., 2013; Quinto-Sánchez et al., 2015; Quinto-Sánchez et al., 2017; Paschetta et al., 2016), medicina gené-

tica (Hammond, 2007; Hammond et al., 2005; Weinberg et al., 2008), ciencias forenses (de Cerequeira et al., 2016; Liu et al., 2015; Albert et al., 2007), envejecimiento (Ramanathan et al., 2009; Fu et al., 2010) y genómica cuantitativa (Liu et al., 2012; Adhikari et al., 2016). Otras características fenotípicas humanas (orejas, cuerpo, etc.) presentan oportunidades similares para la investigación científica. Pese a ello no hay aún un uso masivo de las importantes variables cuantitativas antropométricas, principalmente por el límite que impone realizar tediosas mediciones manuales, un proceso lento y que origina grandes errores (Segev et al., 2010; Kamoen et al., 2001).

Por ello se propuso investigar técnicas avanzadas en procesamiento de imágenes para recolectar datos morfométricos de una manera abarcativa y masiva. Este método está basado en la morfometría geométrica y utiliza redes convolucionadas CNN) para la realización del *landmarking*. Luego de entrenar la red con *landmarks* colocados de forma manual junto con sus imágenes, el algoritmo es capaz de ubicar la posición de *landmarks* y semi-*landmarks* de forma adecuada. Se emplearon ERT para probar la viabilidad de utilizar *landmarks* para tareas de



**Figura 20.** Oreas procesadas automáticamente sobre la imagen completa

Fuente: Elaboración propia

reconocimiento e identificación, los cuales son especialmente útiles para determinar la importancia de los datos, cómo son clasificados, y para obtener valores de pesos relativos o medir la importancia de cada dimensión en el espacio de características (Wehenkel et al., 2006). Gracias a esta característica fue posible analizar la contribución relativa de cada *landmark* en el proceso de reconocimiento. Se mostró que el método es lo suficientemente flexible como para poder ser aplicado en varios contextos diferentes. Toda la implementación fue desarrollada con herramientas libres y abiertas y el código se encuentra disponible<sup>18</sup>, por lo que el modelo pre-entrenado y el código pueden ser descargados y utilizados.

Los fundamentos metodológicos de esta propuesta la hacen más robusta y flexible que otras aproximaciones *ad-hoc* existentes en la literatura, específicamente frente a situaciones típicas como por ejemplo homografías, remuestreo o transformaciones de luminancia. Nuestra propuesta es lo suficientemente general como para ser adaptada a otras características antropológicas físicas. Por dicha razón, varias líneas de investigación se abrieron gracias a los resultados aquí expuestos, incluyendo estudios de rasgos de interés biomédico y forense, biometría, análisis de percepción, por mencionar alguno de ellos.

En estos momentos nos encontramos definiendo varias líneas de investigación las cuales surgen naturalmente de los resultados mostrados. Por un lado, el meta-modelado de CNN, el cual los permitirá el desarrollo generalizado de fenotipado automático de diferentes estructuras biológicas de manera transparente; generando una biblioteca de *landmarking* de alto nivel que podrá ser utilizada con sólo el conjunto de entrenamiento de imágenes y sus *landmarks* asociados. Y, por otro lado, el diseño de CNN para diferentes aplicaciones bioantropológicas.

Como resultado del diseño de diversas arquitecturas de CNN se observó que esta tarea requiere experiencia y diseño humano, pese a ser una tarea exploratoria. Cada arquitectura es diseñada bajo cuidadosa experimentación y modificada o heredada por modelos previos. Surge entonces como objetivo primordial de trabajo el desarrollo de algoritmos de meta-modelado utilizando analíticos visuales para generar estructuras de CNN con un elevado desempeño para clasificación (Baker et al., 2016; Shahriari et al.,

2016; Pinto et al., 2009). Otro trabajo específico en desarrollo es el diseño de algoritmos para meta-modelado de estructuras de CNN para fenotipado automático. Así mismo se están estudiando nuevas técnicas de *data augmentation* específicas para los conjuntos de datos de fenotipos actuales, para aumentar la capacidad de generalización.

Respecto de las aplicaciones bioantropológicas, actualmente se desarrolla una aplicación de escaneo corporal 3D, la cual es uno de los pasos previos a la obtención de medidas antropométricas en el *landmarking* automático. Otra aplicación importante de nuestro *framework* de análisis está siendo realizada para la estimación de género en la reconstrucción del perfil biológico de un esqueleto no identificado (arqueológico o contemporáneo) y en forma consecuente para la identificación positiva de restos óseos recuperados de una escena forense. Se procesaron 130 imágenes de huesos ilíacos (45.4 % femeninos y 54.6 % masculinos) pertenecientes a la colección del Departamento de Anatomía, Facultad de Medicina de la Universidad de México (UNAM). Se utilizaron *semilandmarks* sobre la escotadura ciática como vector de características para definir el sexo (Gómez-Valdés et al., 2012). Y actualmente estamos diseñando nuevas arquitecturas de redes de análisis, así como métodos de *data augmentation* para trabajar sobre estos datos con mayor significatividad y de forma automática.

También sobre datos óseos se está comenzando a desarrollar un modelo para el *landmarking* automático sobre cráneos. Para ello se cuenta con dos configuraciones de *landmarks* distintas, por un lado, *landmarks* situados sobre la cara y sobre el contorno del cráneo. Estas configuraciones fueron utilizadas en el trabajo de (de Azevedo et al., 2011), en el cual se realizó un estudio sobre posibles escenarios en las fases iniciales de las migraciones de humanos desde Asia al Nuevo Mundo. Se trabajó con datos morfométricos para analizar asociaciones entre la matriz de distancias craneométricas y diferentes matrices geográficas, reflejando distintos escenarios para el poblamiento del Nuevo Mundo.

18 [https://github.com/celiacintas/tests\\_landmarks](https://github.com/celiacintas/tests_landmarks)

## REFERENCIAS CITADAS

- Lanitis, A., Taylor, C., & Cootes, T. (1995). Automatic face identification system using flexible appearance models. *Image and Vision Computing*, 13(5), 393–401. [http://doi.org/10.1016/0262-8856\(95\)99726-H](http://doi.org/10.1016/0262-8856(95)99726-H)
- Wiskott, L., Fellous, J. M., Krüger, N., & Von der Malsburg, C. (1997). Face recognition by elastic bunch graph matching. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 1296, pp. 456–463). [http://doi.org/10.1007/3-540-63460-6\\_150](http://doi.org/10.1007/3-540-63460-6_150)
- Campadelli, P., Lanzarotti, R., & Savazzi, C. (2003). A feature-based face recognition system. In *Proceedings - 12th International Conference on Image Analysis and Processing, ICIAP 2003* (pp. 68–73). <http://doi.org/10.1109/ICIAP.2003.1234027>
- Kang Liu, K., Weissenfeld, A., Ostermann, J., & Xinghan Luo, X. (2008). Robust AAM building for morphing in an image-based facial animation system. In *2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo* (pp. 933–936). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICME.2008.4607589>
- Tian, Y. L., Kanade, T., & Conn, J. F. (2001). Recognizing action units for facial expression analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(2), 97–115. <http://doi.org/10.1109/34.908962>
- Pantic, M., & Rothkrantz, L. J. M. (2000). Automatic analysis of facial expressions: The state of the art. *Ieee Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(12), 1424–1445. <http://doi.org/10.1109/34.895976>
- Ying, Z., Jianglong, C., Zhigang, Z., & Zengfu, W. (2006). 3D face reconstruction from stereo: A model based approach. In *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP* (Vol. 3). <http://doi.org/10.1109/ICIP.2007.4379247>
- Guo, J., Mei, X., & Tang, K. (2013). Automatic landmark annotation and dense correspondence registration for 3D human facial images. *BMC Bioinformatics*, 14(1), 232. <http://doi.org/10.1186/1471-2105-14-232>
- Gómez-Valdés, J. a, Hinemeier, T., Contini, V., Acuña-Alonso, V., Macin, G., Ballesteros-Romero, M., Bortolini, M. C. (2013). Fibroblast growth factor receptor 1 (FGFR1) variants and craniofacial variation in Amerindians and related populations. *American Journal of Human Biology : The Official Journal of the Human Biology Council*, 25, 12–9. <http://doi.org/10.1002/ajhb.22331>
- Quinto-Sánchez, M., Adhikari, K., Acuña-Alonso, V., Cintas, C., Silva De Cerqueira, C. C., Ramallo, V., ... González-José, R. (2015). Facial asymmetry and genetic ancestry in Latin American admixed populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 157(1), 58–70. <http://doi.org/10.1002/ajpa.22688>
- Schlager, S., & Rüdell, A. (2015). Analysis of the human osseous nasal shape—population differences and sexual dimorphism. *American Journal of Physical Anthropology*, 157(4), 571–581. <http://doi.org/10.1002/ajpa.22749>
- Paschetta, C., De Azevedo, S., González, M., Quinto-Sánchez, M., Cintas, C., Varela, H., ... González-José, R. (2016). Shifts in subsistence type and its impact on the human skull's morphological integration. *American Journal of Human Biology*, 28(1), 118–128. <http://doi.org/10.1002/ajhb.22746>
- Hammond, P. (2007). The use of 3D face shape modelling in dysmorphology. *Archives of Disease in Childhood*, 92(12), 1120–1126. <http://doi.org/10.1136/adc.2006.103507>
- Hammond, P., Hutton, T. J., Allanson, J. E., Buxton, B., Campbell, L. E., Clayton-Smith, J., ... Tassabehji, M. (2005). Discriminating power of localized three-dimensional facial morphology. *American Journal of Human Genetics*, 77(6), 999–1010. <http://doi.org/10.1086/498396>
- Weinberg, S. M., Neiswanger, K., Richtsmeier, J. T., Maher, B. S., Mooney, M. P., Siegel, M. I., & Marazita, M. L. (2008). Three-dimensional morphometric analysis of craniofacial shape in the unaffected relatives of individuals with nonsyndromic orofacial clefts: A possible marker for genetic susceptibility. *American Journal of Medical Genetics Part A*, 146A(4), 409–420. <http://doi.org/10.1002/ajmg.a.32177>
- Alexander, K. S., Stott, D. J., Sivakumar, B., & Kang, N. (2011). A morphometric study of the human ear. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery : JPRAS*, 64(1), 41–7. <http://doi.org/10.1016/j.bjps.2010.04.005>
- Kurniawan, F., Shafry, M., Rahim, M., & Khalil, M. S. (2014). Geometrical and Eigenvector Features for Ear Recognition, 57–62.

- Liu, Y., Zhang, B., & Zhang, D. (2015). Ear-parotic face angle: A unique feature for 3D ear recognition. *Pattern Recognition Letters*, 53, 9–15. <http://doi.org/10.1016/j.patrec.2014.10.014>
- Albert, A. M., Ricanek, K., & Patterson, E. (2007). A review of the literature on the aging adult skull and face: Implications for forensic science research and applications. *Forensic Science International*, 172(1), 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.03.015>
- Ramanathan, N., Chellappa, R., & Biswas, S. (2009). Computational methods for modeling facial aging: A survey. *Journal of Visual Languages & Computing*, 20(3), 131–144. <http://doi.org/10.1016/j.jvlc.2009.01.011>
- Fu, Y., Guo, G., & Huang, T. S. (2010). Age synthesis and estimation via faces: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(11), 1955–1976. <http://doi.org/10.1109/TPAMI.2010.36>
- Liu, F., van der Lijn, F., Schurmann, C., Zhu, G., Chakravarty, M. M., Hysi, P. G., ... Kayser, M. (2012). A Genome-Wide Association Study Identifies Five Loci Influencing Facial Morphology in Europeans. *PLoS Genetics*, 8. <http://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002932>
- Adhikari, K., Fuentes-guajardo, M., Quinto-sa, M., Acun, V., Jaramillo, C., Arias, W., ... Bedoya, G. (2016). A genome-wide association scan implicates DCHS2, RUNX2, GLI3, PAX1 and EDAR in human facial variation. *Nature Communications*, 7(May), 1–11. <http://doi.org/10.1038/ncomms11616>
- Segev, E., Yoram, H., Wientroub, S., Dror, O., Fishkin, M., Steinberg, D. M., & Hayek, S. (2010). Intra-and interobserver reliability analysis of digital radiographic measurements for pediatric orthopedic parameters using a novel PACS integrated computer software program. *J Child Orthop*, 4, 331–341. <http://doi.org/10.1007/s11832-010-0259-5>
- Kamoen, A., Dermaut, L., & Verbeeck, R. (2001). The clinical significance of error measurement in the interpretation of treatment results. *European Journal of Orthodontics*, 23(5), 569–78. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11668876>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances In Neural Information Processing Systems*, 1–9.
- Farabet, C., Couprie, C., Najman, L., & Lecun, Y. (2013). Learning hierarchical features for scene labeling. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(8), 1915–1929. <http://doi.org/10.1109/TPAMI.2012.231>
- Tompson, J., Jain, A., LeCun, Y., & Bregler, C. (2014). Joint Training of a Convolutional Network and a Graphical Model for Human Pose Estimation. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1799–1807.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., ... Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (Vol. 07–12-June, pp. 1–9). <http://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298594>
- Mikolov, T., Deoras, A., Povey, D., Burget, L., & Černocký, J. (2011). Strategies for training large scale neural network language models. In *2011 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding, ASRU 2011, Proceedings* (pp. 196–201). <http://doi.org/10.1109/ASRU.2011.6163930>
- Hinton, G. E., Srivastava, N., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. R. (2012). Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. *arXiv: 1207.0580*, 1–18. <http://doi.org/arXiv:1207.0580>
- Sadowski, P., Baldi, P., & Whiteson, D. (2014). Searching for Higgs Boson Decay Modes with Deep Learning. *Advances in Neural Information Processing Systems 27 (Proceedings of NIPS)*, 1–9.
- Helmstaedter, M., Briggman, K. L., Turaga, S. C., Jain, V., Seung, H. S., & Denk, W. (2013). Connectomic reconstruction of the inner plexiform layer in the mouse retina. *Nature*, 500(7461), 168–174. <http://doi.org/10.1038/nature12346>
- Leung, M. K. K., Xiong, H. Y., Lee, L. J., & Frey, B. J. (2014). Deep learning of the tissue-regulated splicing code. *Bioinformatics*, 30(12). <http://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu277>
- Xiong, H. Y., Alipanahi, B., Lee, L. J., Bretschneider, H., Merico, D., Yuen, R. K. C., ... Frey, B. J. (2015). The human splicing code reveals new insights into the genetic determinants of disease. *Science*, 347(6218), 1254806. <http://doi.org/10.1126/science.1254806>

- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <http://doi.org/10.1038/nature14539>
- Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biological Cybernetics*, 36(4), 193–202. <http://doi.org/10.1007/BF00344251>
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278–2323. <http://doi.org/10.1109/5.726791>
- Toshev, A., & Szegedy, C. (2014). DeepPose: Human Pose Estimation via Deep Neural Networks. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 1653–1660). <http://doi.org/10.1109/CVPR.2014.214>
- Dieleman, S., Willett, K. W., & Dambre, J. (2015). Rotation-invariant convolutional neural networks for galaxy morphology prediction. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450(2), 1441–1459. <http://doi.org/10.1093/mnras/stv632>
- Mahendran, A., & Vedaldi, A. (2015). Understanding deep image representations by inverting them. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (Vol. 07–12-June, pp. 5188–5196). <http://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7299155>
- Lowe, D. G. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*, 2(18), 1150–1157. <http://doi.org/10.1109/ICCV.1999.790410>
- Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2008). Speeded-Up Robust Features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding*, 110(3), 346–359. <http://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014>
- Wang, H., & Raj, B. (2017). On the Origin of Deep Learning. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1702.07800>
- Coates, A., Arbor, A., & Ng, A. Y. (2011). An Analysis of Single-Layer Networks in Unsupervised Feature Learning. *Aistats 2011*, 215–223. <http://doi.org/10.1109/ICDAR.2011.95>
- Jarrett, K., Kavukcuoglu, K., Ranzato, M., & LeCun, Y. (2009). What is the best multi-stage architecture for object recognition? In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 2146–2153). <http://doi.org/10.1109/ICCV.2009.5459469>
- Saxe, A. M., Koh, P. W., Chen, Z., Bhand, M., Suresh, B., & Ng, A. Y. (2011). On Random Weights and Unsupervised Feature Learning. *Learning*, (2009), 1–9. Retrieved from <http://ai.stanford.edu/~ang/papers/nipsdluf10-RandomWeights.pdf>
- Pinto, N., Stone, Z., Zickler, T., & Cox, D. (2011). Scaling up biologically-inspired computer vision: A case study in unconstrained face recognition on facebook. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. <http://doi.org/10.1109/CVPRW.2011.5981788>
- Lee, H., Grosse, R., Ranganath, R., & Ng, A. Y. (2009). Convolutional deep belief networks for scalable unsupervised learning of hierarchical representations. *Proceedings of the 26th Annual International Conference on Machine Learning ICML 09, 2008*, 1–8. <http://doi.org/10.1145/1553374.1553453>
- Boureau, Y.-L., Ponce, J., & Lecun, Y. (2010). A Theoretical Analysis of Feature Pooling in Visual Recognition. *Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning (2010)*, 111–118. <http://doi.org/citeulike-article-id:8496352>
- Azaria, R., Adler, N., Silfen, R., Regev, D., & Hauben, D. J. (2003). Morphometry of the adult human earlobe: a study of 547 subjects and clinical application. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 111(7), 2398–402; discussion 2403–4. <http://doi.org/10.1097/01.PRS.0000060995.99380.DE>
- Sforza, C., Grandi, G., Binelli, M., Tommasi, D. G., Rosati, R., & Ferrario, V. F. (2009). Age- and sex-related changes in the normal human ear. *Forensic Science International*, 187(1-3), 110.e1–7. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.02.019>
- Adhikari, K., Reales, G., Smith, A. J. P., Konka, E., Palmen, J., Quinto-Sanchez, M., ... Ruiz-Linares, A. (2015). A genome-wide association study identifies multiple loci for variation in human ear morphology. *Nature Communications*, 6(May), 7500. <http://doi.org/10.1038/ncomms8500>
- Purkait, R., & Singh, P. (2008). A test of individuality of human external ear pattern: its application in the field



- of personal identification. *Forensic Science International*, 178(2-3), 112–8. <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.02.009>
- Ercan, I., Ozdemir, S. T., Etoz, A., Sigitli, D., Tubbs, R. S., Loukas, M., & Guney, I. (2008). Facial asymmetry in young healthy subjects evaluated by statistical shape analysis. *Journal of Anatomy*, 213(6), 663–669. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2008.01002.x>
- Viola, P., & Jones, M. (2001). Robust real-time object detection. *International Journal of Computer Vision*, 57, 137–154. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb>
- Oliphant, T. E. (2007). Python for Scientific Computing. *Computing in Science & Engineering*, 9. <http://doi.org/10.1109/MCSE.2007.58>
- van der Walt, S., Colbert, S. C., & Varoquaux, G. (2011). The NumPy array: a structure for efficient numerical computation. *CoRR*, abs/1102.1523. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1102.1523>
- Dieleman, S., Schlüter, J., Raffel, C., Olson, E., Sønderby, S. K., Nouri, D., ... Degraeve, J. (2015). Lasagne: First release. <http://doi.org/10.5281/zenodo.27878>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.
- Cintas, C., Quinto-Sánchez, M., Acuña, V., Paschetta, C., De Azevedo, S., Silva de Cerqueira, C., ... Delrieux, C. (2016). Automatic ear detection and feature extraction using Geometric Morphometrics and Convolutional Neural Networks. *IET Biometrics*. <http://doi.org/10.1049/iet-bmt.2016.0002>
- Solina, F., Peer, P., Batagelj, B., Juvan, S., & Kovač, J. (2003). Color-based face detection in the “15 seconds of fame” art installation. *Proceedings of Mirage 2003, Conference on Computer Vision / Computer Graphics*, 38–47.
- Kumar, A., & Wu, C. (2012). Automated human identification using ear imaging. *Pattern Recognition*, 45(3), 956–968.
- Geurts, P., Ernst, D., & Wehenkel, L. (2006). Extremely randomized trees, (October 2005), 3–42. <http://doi.org/10.1007/s10994-006-6226-1>
- Iannarelli, A. V. (1989). *Ear Identification* (Vol. 1). Paramount Publishing Company. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=jgPkAAAACAAJ&pgis=1>
- Pflug, a., & Busch, C. (2012). Ear biometrics: a survey of detection, feature extraction and recognition methods. *IET Biometrics*, 1(2), 114. <http://doi.org/10.1049/iet-bmt.2011.0003>
- Chen, H., & Bhanu, B. (n.d.). Shape Model-Based 3D Ear Detection from Side Face Range Images. In *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) - Workshops* (Vol. 3, pp. 122–122). IEEE. <http://doi.org/10.1109/CVPR.2005.525>
- Chen, H., & Bhanu, B. (2007). Contour matching for 3D ear recognition. *Proceedings - Seventh IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, WACV 2005*, 123–128. <http://doi.org/10.1109/ACVMOT.2005.38>
- Attarchi, S., Faez, K., & Rafiei, A. (2008). *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*. (J. Blanc-Talon, S. Bourennane, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders, Eds.) (Vol. 5259). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <http://doi.org/10.1007/978-3-540-88458-3>
- Ansari, S., & Gupta, P. (2007). Localization of ear using outer helix curve of the ear. *International Conference on Computing: the Theory and Applications*, 688–692. <http://doi.org/10.1109/ICCTA.2007.82>
- Prakash, S., & Gupta, P. (2012). An efficient ear localization technique. *Image and Vision Computing*, 30(1), 38–50. <http://doi.org/10.1016/j.imavis.2011.11.005>
- Yan, P., & Bowyer, K. W. (2007). Biometric recognition using 3D ear shape. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(8), 1297–308. <http://doi.org/10.1109/TPAMI.2007.1067>
- Abaza, A., Hebert, C., & Harrison, M. A. F. (2010). Fast learning ear detection for real-time surveillance. *IEEE 4th International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems, BTAS 2010*. <http://doi.org/10.1109/BTAS.2010.5634486>
- Islam, S. M. S., Bennamoun, M., & Davies, R. (2008). Fast and fully automatic ear detection using cascaded

- adaboost. 2008 *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, WACV*. <http://doi.org/10.1109/WACV.2008.4544023>
- Freund Robert Schapire, Y. E. (1999). A Short Introduction to Boosting. *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, 14(5), 771–780. Retrieved from [www.research.att.com/](http://www.research.att.com/)
- Dietterich, T. G. (2000). An Experimental Comparison of Three Methods for Constructing Ensembles of Decision Trees. *Machine Learning*, 40, 139–157. <http://doi.org/10.1023/A:1007607513941>
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <http://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Wehenkel, L., Ernst, D., & Geurts, P. (2006). Ensembles of extremely randomized trees and some generic applications. In *Robust Methods for Power System State Estimation and Load Forecasting*.
- Quinto-Sánchez, M., Cintas, C., Silva de Cerqueira, C. C., Ramallo, V., Acuña-Alonzo, V., Adhikari, K., ... González-José, R. (2017). Socioeconomic Status Is Not Related with Facial Fluctuating Asymmetry: Evidence from Latin-American Populations. *PLOS ONE*, 12(1), e0169287. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0169287>
- de Cerqueira, C. C. S., Ramallo, V., Hunemeier, T., Azevedo, S. de, Sanchez, M. Q., Paschetta, C., ... González-José, R. (2016). Predicting Physical Features and Diseases by DNA Analysis: Current Advances and Future Challenges. *Journal of Forensic Research*, 7(4), -. <http://doi.org/10.4172/2157-7145.1000336>
- Baker, B., Gupta, O., Naik, N., & Raskar, R. (2016). Designing Neural Network Architectures using Reinforcement Learning. *arXiv Preprint*, 1–16. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1611.02167>
- Shahriari, B., Swersky, K., Wang, Z., Adams, R. P., & De Freitas, N. (2016). Taking the human out of the loop: A review of Bayesian optimization. *Proceedings of the IEEE*, 104(1), 148–175. <http://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2494218>
- Pinto, N., Doukhan, D., DiCarlo, J. J., & Cox, D. D. (2009). A high-throughput screening approach to discovering good forms of biologically inspired visual representation. *PLoS Computational Biology*, 5(11). <http://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000579>
- Gómez-Valdés, J. A., Quinto-Sánchez, M., Menéndez Garmendia, A., Velemínska, J., Sánchez-Mejorada, G., & Bruzek, J. (2012). Comparison of methods to determine sex by evaluating the greater sciatic notch: Visual, angular and geometric morphometrics. *Forensic Science International*, 221(1-3). <http://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.04.027>
- De Azevedo, S., Nocera, A., Paschetta, C., Castillo, L., González, M., & González-José, R. (2011). Evaluating microevolutionary models for the early settlement of the New World: The importance of recurrent gene flow with Asia. *American Journal of Physical Anthropology*, 146(4), 539–552. <http://doi.org/10.1002/ajpa.21564>

# 23

## Identificación Facial Forense

Quinto-Sánchez Mirsha<sup>1</sup>

Palabras clave: variación facial, identificación humana, biometría, morfometría geométrica, estadística multivariada

### RESUMEN

En este capítulo se hace una revisión del protocolo de identificación facial forense (IFF) por medio de caracteres craneofaciales bajo un modelo basado en evidencia. Concretamente, se revisan métodos métricos, morfoscópicos o no métricos y técnicas auxiliares para la generación de una propuesta simple de análisis del fenotipo facial para la identificación forense. Todo ello basado en las guías del *Facial Identification Scientific Working Group* (FISWG). Además, se realiza una prueba de validación al método métrico de IFF con un modelo de biodistancia aplicado a 200 individuos de una muestra de personas mexicanas, resultando en un poder de individualización del 94%. Finalmente, se integra la propuesta de un protocolo generalizado de IFF.

### ABSTRACT

In this chapter, a review of the Forensic Facial Identification Protocol (IFF) is performed through craniofacial characters and under evidence-based model. Specifically, metric, morphoscopic/non-metric methods and auxiliary techniques are reviewed. These methods based on the guides of the Facial Identification Scientific Working Group (FISWG). In addition, a validation test is carried out on the IFF metric method with a biodistance model and applied to 200 individuals from a sample of Mexican people. Applying a multivariate approach, results shows a 94% rate of individualization for geometric morphometrics protocol. Finally, some addenda to the FISWG were made and generation of a generalized IFF protocol through facial phenotype analysis for forensic human identification.

### INTRODUCCIÓN

El complejo o biosólido craneofacial es uno de los fenotipos más socorridos en el campo de la identificación humana. Su

variación ha sido motivo de diversos métodos forenses para la determinación sexual (Walker, 2008), la estimación de la edad (Machado et al., 2017), ancestría (Dudzik y Jantz, 2016; Spradley y Jantz, 2016) y la identificación de rasgos indi-

<sup>1</sup> Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF), Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

vidualizantes de variación normal (Christensen, 2004), todos ellos delimitados a construir un perfil biológico de un individuo en un proceso de procuración de justicia. Por lo que, el objetivo del presente capítulo es realizar una revisión de la aplicación del protocolo de identificación facial forense (IFF) por medio de caracteres craneofaciales bajo un modelo basado en evidencia. Específicamente se revisarán métodos métricos, morfoscópicos o no métricos y técnicas auxiliares para la generación de una propuesta simple de análisis del fenotipo facial para la identificación forense.

## EL ESTUDIO DE UN FENOTIPO COMPLEJO: LA CARA HUMANA

La complejidad estructural de la cabeza humana le impone un desafío analítico, ya en que ella se interrelacionan factores de corte evolutivo, del desarrollo, funcionales (Lieberman, 2011) e incluso, variación asociada a prácticas culturales. Luego entonces su caracterización y análisis representan un desafío para las ciencias antropológicas forenses.

Estructuralmente, la cabeza humana, es una estructura situada por encima de la columna vertebral y sostenida por el atlas, es la parte más elevada del esqueleto, la porción más compleja y un elemento de mucha importancia en la biología antropológica porque brinda información sobre edad, sexo e historia evolutiva (White y Folkens 2000; 45, Testut 1954).

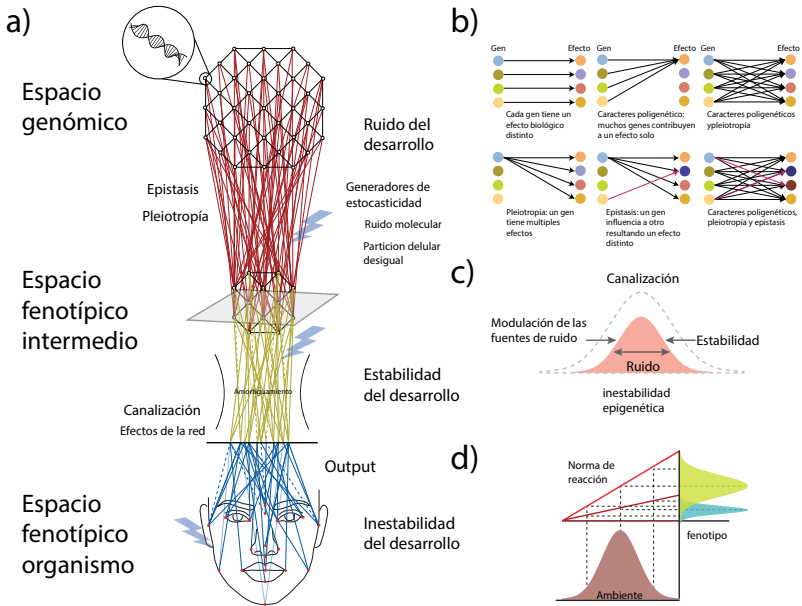
La cabeza humana es compleja a diversos niveles, por esta característica de complejidad se le ha definido como un fenotipo hiperdimensional. Lieberman, (2011) define tres fuentes para explicar la complejidad craneofacial: a) el rango de funciones críticas que la cabeza realiza, b) número y diversidad de componentes y c) su grado de integración.

Anatómicamente, aportando más datos a la complejidad, el cráneo está constituido esencialmente por 22 elementos pareados y 5 elementos únicos según White y Folkens (2000; 36), aunque algunos otros autores lo resumen a ocho piezas óseas Testut (1954). La complejidad no solo estaría relacionada con el número de estructuras que lo componen, sino más por las interrelaciones de éstos anteriores elementos. En este sentido, Van Der Klaauw, (1945) citaba que el cráneo consiste en un número de partes funcionales relativamente separadas, que difie-

ren en tamaño, posición y agrupamiento. Este autor propuso componentes funcionales como el cerebral, ocular, olfatorio y oral. Más tarde se ha postulado que dichos componentes están en una independencia funcional relativa (Pucciarelli, 2008). Este concepto era el preámbulo de la formulación de la integración morfológica desarrollada por Olson y Miller, (1958), donde cada componente o módulo del organismo debería estar formado de tal manera que su participación en estructura y función del todo del organismo se exprese con respecto a todas las otras partes. Lo anterior prueba que el cráneo es una estructura tanto modular como integrada, diversos autores han definido cómo dichos módulos craneofaciales se comportan desde diversos enfoques metodológicos (Lieberman et al., 2000; Bastir y Rosas, 2005; Richtsmeier et al., 2006; Bastir, 2008; Mitteroecker y Bookstein, 2008; Martínez-Abadías et al., 2012; Paschetta y González-José, 2012; Esteve-Altava et al., 2013, 2015; Quinto-Sánchez et al., 2018).

A la estructura ósea se adhiere una compleja red de 38 músculos faciales y capas de epitelio que en su conjunto permiten realizar vocalizaciones y diversas expresiones faciales (enojo, sonrisa, etc.). Al respecto, Enlow, (1990) cita que las variaciones comunes u ordinarias de la cara se deben a tres factores generales: 1) diferentes tipos faciales definidos en la manera como se relacionan con los cambios de forma y el aspecto global de toda la cabeza (morfoloía tipologista), 2) variaciones faciales entre varones y mujeres (dimorfismo sexual/alometría), 3) diferencias entre las caras de niños y adultos (ontogenia/crecimiento/trayectoria ontogenética). Luego entonces, el estudio de cráneos o caras con aplicaciones forenses parte del reconocimiento de la complejidad anatomofuncional de la cabeza humana para generar indicadores útiles en la identificación humana forense.

Ahora bien, no se puede intentar caracterizar a la variación fenotípica craneofacial sin tener en cuenta que el fenotipo es el resultado de la sumatoria de la expresión genética y efectos ambientales multifactoriales (González-José, 2003; González-José et al., 2004, [figura 1](#)), dicho modelo, en primera instancia, parece ser desventajoso para la inferencia de las relaciones poblacionales (ancestría biogeográfica), el sexo o la edad, caracteres básicos de la construcción de un perfil biológico en el campo forense.



**Figura 1.** Modelo integral del mapa genotipo-fenotipo

A) Mapa fenotipo-genotipo, se puede generalizar en tres espacios: espacio genómico, espacio fenotípico intermedio, espacio fenotípico orgánico. La integración de un fenotipo es el resultado de la interacción de dichos espacios y de mecanismos como: dominancia-recesividad, generadores de estocasticidad, b) pleiotropicos y epistáticos, ruido celular, partición celular desigual y la epigénesis, c) canalización, amortiguamiento, modulación y como resultado en la interacción en un ambiente una norma de reacción (d).

Fuente: Modificado de Schuster 2002.

Basándose en el modelo infinitesimal de Fisher, la varianza total fenotípica, es igual a la varianza generada por el ambiente y la varianza provocada por factores genéticos, ello es la modelación del denominado mapa genotipo-fenotipo (Gonzalez-Jose, 2006, figura 1). Es por ello que se puede argumentar que existen factores ambientales que modelan una proporción de la variabilidad fenotípica en la morfología del cráneo (González José et al. 2005), habiendo regiones que tiene mayor plasticidad fenotípica. Para entender la configuración de una cara, recurrimos al modelo de Palimpsesto (Hallgrímsson et al., 2009) y al modelo integral del mapa genotipo fenotipo (Schuster, 2002). El proceso de generación de un fenotipo, integran diversos espacios y mecanismos que podrían tener una influencia en el proceso del desarrollo: a) Espacio genómico, que incluye espacios alélicos y de *back-*

*ground* genotípico, La configuración genética más los procesos de dominancia recesividad serán determinantes en la configuración del individuo. B) Efectos generadores de estocasticidad, en este punto el genotipo se contrasta por procesos como el ruido celular, epistasis y pleiotropía, c) espacio fenotípico intermedio donde la partición celular desigual y la epigénesis continúan como principales fuerzas de ruido en el desarrollo en contraste con la estabilidad detonada por la canalización, amortiguamiento, modulación y erectos de la red del desarrollo y, finalmente, d) espacio fenotípico del organismo, donde se tiene la interacción con el ambiente y los posibles resultados fenotípicos por medio de la norma de reacción. En el proceso de diseño de metodologías forenses debe tomarse en cuenta si el estudio realizado no sobre expresa algún componente de varianza ambiental, sino que se caracterice

de mejor manera el componente genético o que pueda utilizar caracteres altamente dimórficos para discriminar el sexo de un individuo. Esto es emplear las caracterizaciones poblacionales para conocer la relación del sexo, edad o ancestría en una muestra y emplearla con fines de individuación forense.

En este sentido, teniendo a los fenotipos como cantidad mensurable y de interés es posible analizar los patrones de variación morfológica como evidencia forense. La variación visiblemente discontinua, causada por la segregación genética, se traduce en variación continua medible en los caracteres cuantitativos por medio de la segregación simultánea de muchos genes y por la superposición de una variación realmente continua producida por causas no genéticas. En términos de interacción física, la morfología craneal es el resultado de presiones y tensiones asociadas con la expansión de órganos (como el cerebro), tejidos conectivos, desplazamientos de hueso e influencias musculares (Bruner 2007).

En el terreno forense, las mediciones realizadas sobre un cráneo o cara, es decir, el valor observado cuando se mide un carácter en un individuo, es el valor fenotípico de dicho individuo (Falconer y Mackay 2001). Dicho valor, si hemos diseñado a cabalidad nuestra metodología, deberá representar más el dimorfismo sexual (Rosas y Bastir, 2002; Claes et al., 2012), la edad (Bastir et al., 2006; Coleman y Grover, 2006; Kahn y Shaw, 2010) o diversas prácticas culturales o médicas (Quinto Sánchez et al., 2017), son factores que modificarán, incluso profundamente, el fenotipo, dificultando la inferencia forense en el cráneo, ya que sin un protocolo que considere todos estos elementos es frecuente cometer error estadístico tipo 1 en las conclusiones de dictámenes forense.

## LA IDENTIFICACIÓN FACIAL FORENSE (IFF)

Cada una de las características descritas en arriba ha permitido a diversos investigadores y peritos desarrollar metodologías específicas para realizar procesos de identificación facial en dos vertientes, la identificación de personas vivas y fallecidas (Wilkinson y Rynn, 2012). En la primera vertiente, las personas con vida, se incluyen temas como la relación de los caracteres faciales y la edad, comparación facial forense, los algoritmos de reconocimiento automatizada, etc.

Mientras que, en la vertiente de personas fallecidas, se orienta a tener información para predecir los rasgos faciales *antemortem*, reconstrucciones automatizadas, superimposiciones cráneo-cara, predicción fenotípica, etc.

El punto central de la identificación facial forense es discernir entre una identificación precisa de una que no lo es, esto es considerado como el punto total de la IFF (Valentine y Davis, 2015). El proceso de identificación facial puede realizarse en primera instancia por un testigo, empero ante un juicio el juez siempre tendrá que sopesar dos preguntas básicas: ¿Este testigo está dando una declaración honesta? Si es así, ¿se puede confiar en su declaración como precisa? La decisión sobre un caso no puede ser tan subjetivo, por ello, ante casos en donde se tiene evidencias de fotografías o cámaras de vigilancia en bancos, vía pública, etc. Se puede recurrir a un modelo basado en evidencia, mediante un peritaje para poder brindar un acercamiento más objetivo sobre la identificación de un sospechoso. Recientemente, también se ha aplicado la IFF para cuerpos de personas en contextos de migraciones forzadas en el mediterráneo, donde barcos con voluntariado rescatan cuerpos en altamar y generan una ficha *postmortem* para posibilitar su identificación posterior. En la actualidad la identificación automatizada por medio de diversos algoritmos y la predicción fenotípica parecen ser la punta de lanza de métodos de identificación que hace algunos años no se podían vislumbrar.

## IDENTIFICACIÓN FACIAL FORENSE (IFF) SEGÚN EL GRUPO DE TRABAJO CIENTÍFICO DE IDENTIFICACIÓN FACIAL

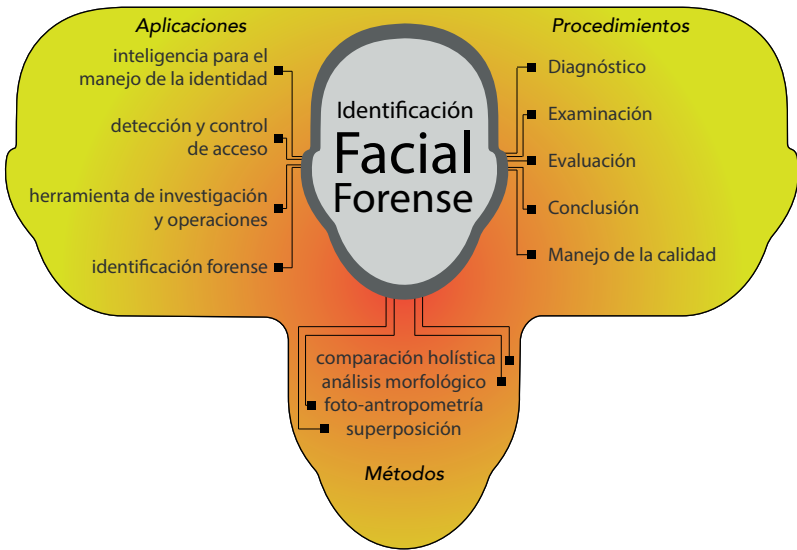
En ámbito forense la información fenotípica craneofacial es un cuerpo de investigación prolífico, en el campo de la investigación, pero también desarrollando grupos científicos de trabajo que han sido una salida muy efectiva para la delimitación de reglas básicas para la creación de estándares, guías y recomendaciones en materia de identificación facial. Este agregado de especialistas convoca a presentar adendas a un estándar o guías generales que se aprueban en colegiado para permitir desde la estandarización de términos hasta la forma en la que se debe capturar un fenotipo facial. Según el *Facial Identification Scientific Working Group* (FISWG) su misión es

*“desarrollar un consenso en cuando a los estándares, guías y mejores prácticas para la disciplina de las comparaciones basadas en imágenes de las características humanas, principalmente la cara, así como para proporcionar recomendaciones para la investigación y actividades de desarrollo necesarias para avanzar en el estado de la ciencia en este campo.”*

Dentro de los mayores avances en materia de identificación humana, la conformación del FISWG ha sido elemental para el desarrollo, mediante un modelo basado en evidencia. Las principales aplicaciones de la IFF, según el FISWG, caen dentro de cuatro categorías (figura 2): a) recolección de inteligencia para el manejo de la identidad, b) detección y control de acceso, c) herramienta de investigación y operaciones e, d) identificación forense. En este punto se quiere destacar que las guías del FISWG están modeladas con una perspectiva basada en evidencia,

término heredado de la medicina (Evidence-Based Medicine Working Group, 1992; Sackett et al., 1996; Heneghan et al., 2017), lo que mejora, por mucho, de las directrices de identificación forense, ya que reúne toda la evidencia científica publicada (investigación), la validación y/o aplicación de diversas metodologías en la praxis (peritajes) y la protección de los intereses de las víctimas o familiares bajo un principio humanitario y de derechos *postmortem*. Todo ello, como modelo permite una gran certidumbre al proceso de identificación en un caso, ayudando a los actores de la impartición de justicia a tener fiabilidad de los resultados.

De manera general, los procedimientos para la IFF deben ser realizados en el marco de cinco puntos centrales: 1) una evaluación inicial o diagnóstico, 2) examinación, 3) evaluación científica, 4) conclusión y 5) manejo de la calidad: verificación o validación (figura 2). Mediante estos puntos mínimos, es que el protocolo del FISWG permite la sistematización de la



**Figura 2.** Aplicaciones, procedimientos y métodos en la identificación facial forense según el *Facial Identification Scientific Working Group*

- a) Aplicaciones, recolección de inteligencia para el manejo de la identidad, detección y control de acceso, herramienta de investigación y operaciones e identificación forense.
- b) Procedimientos para la IFF: evaluación inicial o diagnóstico, examinación, evaluación científica, conclusión y un manejo de la calidad / verificación o validación.
- c) Métodos en la IFF: comparación holística, análisis morfológico, foto-antropometría y superposición

Fuente: *Elaboración propia*

aplicación de un marco metodológico que al ser adoptado por servicios forense permite la estandarización y la evaluación del proceso realizado en cualquier laboratorio en una pericia. Además, permite que se extienda el mismo adecuándose a casos particulares y pudiéndose generar una evaluación sistemática, garantizando una repetibilidad y reproducibilidad.

Dentro de la gama de métodos disponibles en la literatura para poder aplicar la IFF, la FISWG, reclama la necesidad de extender trabajos en la validación de los métodos existentes. Los agrupan en cuatro categorías: 1) comparación holística, 2) análisis morfológico, 3) foto-antropometría y 4) superposición (figura 2). Las guías FISWG, insisten en la necesidad imperante de entrenamiento para tener las competencias recomendadas para realizar una comparación facial. Además, se requiere tener claros conceptos como principio de individualidad y permanencia, logrando diferenciar entre caracteres clase e individuales, así como caracteres estables y trascendentes.

En general, un especialista en IFF debe ser capaz de: 1) realizar una evaluación de la calidad de la imagen para determinar el valor de ésta en la examinación IFF, 2) proceso de análisis, comparación evaluación y verificación, 3) métodos de comparación, 4) nivel de conclusión, 5) habilidad para dar apropiadas conclusiones, 6) visión general y efectos del sesgo cognitivo, 7) incluir una confirmación del posible sesgo de la IFF, 8) comprensión de los beneficios de la verificación por un segundo revisor o examinador (validación cruzada). En resumen, el protocolo del FISWG establece una rigurosidad en el proceder pericial de la IFF.

Finalmente, resta decir que quizás la mayor limitación de los protocolos de IFF, es la calidad de las imágenes que se analizan, ya que, dependiendo del propósito del análisis, existirán algunos protocolos que, por la calidad de las imágenes de inicio, no se podrá realizar. Por ende, el análisis de IFF debe incluir una examinación rigurosa uno a uno, comparaciones y evaluación de imágenes controladas y no controladas para evaluar el posible efecto en las conclusiones. En este sentido, el conocimiento de ciencias de la imagen es un componente crítico con el que se debe contar (a nivel infraestructural y de recursos humanos) un especialista o equipo de IFF, en este rubro algunos de los puntos clave son: visión (color, iluminación), fotografía (principios generales, dispositivos), perspectiva (dis-

tancia al sujeto, ángulo de visión) e imágenes digitales, sistemas de compresión de imágenes, etc.

## MÉTODOS DE COMPARACIÓN FACIAL SEGÚN EL FISWG

La comparación holística es el proceso más simple de comparación facial, explota una habilidad humana básica, el reconocimiento visual. En este proceso, todas las características faciales se evalúan simultáneamente, como un todo, y se comparan con otra cara o imagen de una cara. La comparación holística es una práctica común en la revisión facial, por ejemplo, cuando se le hacen ver a víctimas de delitos, fotografías de presuntos delincuentes o algún vigilante en un área restringida para dar acceso a personal. Sin embargo, existe evidencia de que las comparaciones holísticas tienen tasas de exactitud variables, más tendientes a ser bajas (FISWG, 2018), por lo que se limita su valor forense. Debido a que, durante el proceso de comparación, es posible que el individuo que evalúa las características faciales no pueda explicar explícitamente la base de su conclusión. En este sentido, se han desarrollado otras metodologías que ayudan a diluir este factor subjetivo.

El análisis morfológico, morfoscópico o no métrico, es un método de comparación facial en el que las características del rostro se describen, clasifican y comparan. El análisis morfológico como método de comparación se basa en la evaluación de la correspondencia de la forma, apariencia, presencia y / o ubicación de las características faciales. Estas características incluyen dos niveles: global (que corresponde a la cara general), local (incluidas estructuras anatómicas como la nariz o la boca y sus componentes, por ejemplo, puente nasal, orificios nasales, lóbulos de las orejas) y marcas faciales características distintivas como cicatrices o lunares (rasgos de variación normal individualizantes).

Existen un esquemas de clasificación de las características faciales (Penry, 1971; Iscan, 1993; Vanez et al., 1996; İşcan y Loth, 2000; Ritz-Timme et al., 2011a; b), empero aún no se ha acordado una taxonomía estándar, mucho menos el análisis de dichas características en población actual. En un trabajo reciente, Ritz-Timme et al., (2011a), con un esquema de clasificación fijo, observó diferencias entre observadores en la clasificación de las características faciales, lo que indica la dificultad de clasificar las caracte-



terísticas individuales, por lo que es necesaria más investigación en el tema. El análisis morfológico entonces, es un método sistemático de comparación facial en el que características de la cara son descritas y comparadas, por lo que sus conclusiones en relación con similitud o diferencia son basadas en una evaluación e interpretación de observaciones subjetiva. Dentro de la lista mínima de caracteres a evaluar están: forma de la cara, frente, ojos orejas, área de las mejillas, nariz, boca, área de la boca, línea de la mandíbula, barbilla y cicatrices e imperfecciones. Esta lista general puede ser dividida tanto como el *expertise* del evaluador lo permita. Por ejemplo, en el caso de la oreja, se pueden definir subcomponentes como el hélix, tragus, antitragus, etc. Como cita el FISWG, no hay un estándar sobre el número y nomenclatura que se debe incluir en la comparación.

La fotoantropometría, según el FISWG, es la medición digital de las dimensiones y los ángulos de los puntos de referencia antropológicos y otras características faciales con el fin de cuantificar las características y proporciones. Las medidas tomadas de una imagen se comparan con las medidas tomadas de una imagen facial separada. Las conclusiones se basan en umbrales subjetivos para las diferencias aceptables entre las mediciones. La fotoantropometría es una derivación de la antropometría facial que implica el estudio de mediciones faciales basados en diversos puntos de referencia en los tejidos blandos y la estructura ósea, con el fin de cuantificar las características y proporciones de éstas, como se ha aplicado en aplicaciones clínicas. El principal problema de este método es que la mayoría de las imágenes para comparar provienen de fuentes con baja resolución, además de que no se controla la escala. Para la consideración de resultados confiables, las imágenes deben: a) tener suficiente resolución y roco para hacer visibles las características o puntos de interés, b) mínimos artefactos de compresión, c) distorsión mínima, d) mismo campo de visión, e) misma condición de iluminación, f) mínimo oscurecimiento, g) distancia focal conocida, h) distorsión de lente conocida, i) distancia al sujeto conocida, j) ángulo de inclinación de la cabeza conocido, k) misma relación de aspecto, l) misma pose, m) intervalo de tiempo corto entre fotografías, n) expresión similar.

El FISWG no recomienda el uso de la presente técnica, debido a las limitaciones descritas anteriormente con respecto a los requisitos

de imagen, la aplicación forense en la comparación facial está prácticamente excluida. Además, agrega, esta técnica no debe usarse como un método de comparación independiente ni en conjunto con otro método para la identificación o exclusión positiva.

El método de superposición es el proceso realizar una correspondencia espacial de dos imágenes alineadas y compararlas visualmente con la ayuda de transiciones de imágenes, se usa comúnmente junto con otros métodos. Usando técnicas de video o procesamiento digital de imágenes, las transiciones de imágenes pueden incluir *wipe*, *fades* y *toggles*. Un *wipe*, es una línea recta pasa a través de la pantalla revelando gradualmente la imagen subyacente de modo que las partes de ambas imágenes en la opacidad completa se puedan observar simultáneamente. En un *fade*, una imagen se reemplaza progresivamente por otra imagen al cambiar gradualmente la transparencia de las capas de imagen de manera que la totalidad de ambas imágenes se observa con transparencia reducida simultáneamente. En un *toggle*, se alterna cada imagen durante un corto período de tiempo (fracción de segundo) a plena opacidad. La FISWG dice que el uso más apropiado de la superposición es como una ayuda para la comparación visual cuando se toman dos imágenes desde el mismo punto de vista, que a su vez en la antropología forense real es una limitante, ya que es raro que este principio se cumpla. Las imágenes pueden ser fotografías, tomas o imágenes de video, o imágenes sintetizadas a partir de modelos 3D cara o cabeza. Las imágenes deben estar registradas (escaladas, giradas y trasladadas) entre sí para una alineación adecuada. Según el FISWG, debería existir una concordancia entre las imágenes en todos los aspectos del ángulo y la perspectiva para evitar la distorsión de la distribución espacial de los puntos de referencia y las características. Asimismo, el FISWG recomienda solo el uso de rotaciones y transformaciones de escala al aplicar el método de superposición porque estas transformaciones conservan la forma facial. No se deben usar técnicas de procesamiento de imágenes tales como la transformación de perspectiva y de sesgo (*skewing*). A menos que exista un motivo para cuestionar la relación de aspecto, esta debe mantenerse. Se recomienda, finalmente, que las superposiciones solo son adecuadas para comparaciones de imagen a imagen.

## APORTES AL PROTOCOLO DE LA FISWG

Resulta a primera vista un escenario un tanto desalentador para el campo de la comparación facial forense. Parece ser que el protocolo del FISWG define únicamente la posibilidad de la combinación de los métodos de análisis morfológico con superposición para poder tener algún resultado confiable. Sin embargo, el FISWG parece olvidar o relegar el aporte de la morfometría geométrica como método para la identificación facial. Igualmente, el presente capítulo no hace énfasis en los protocolos de reconocimiento automatizado que ya están incluidos en las guías de la FISWG y únicamente se esbozará una sección a la predicción de fenotipos mediante técnicas de genómica.

## LA MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA COMO ELEMENTO RECTOR DE LA CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA FORENSE

La morfometría geométrica surge como la unión entre la biología y la geometría (Bookstein, 1997) mediante esta técnica se estudia la variación en la forma y tamaño con los que es posible realizar una identificación de una persona mediante el fenotipo facial. La forma es toda información que es invariante a los efectos de traslación, rotación y escala (Slice, 2005). Mediante el ajuste generalizado de Procrustes todas las configuraciones de puntos en una cara son superpuestas bajo el criterio de mínimos cuadrados (Dryden y Mardia, 1998) y entonces es que se analiza la variación en una muestra determinada. En este punto, se tendrá información de forma para realizar análisis de biodistancia con enfoques forenses y determinar qué grado de relación tiene un fenotipo en cuestión con una base de datos referencia y/o algunas fotos de comparación.

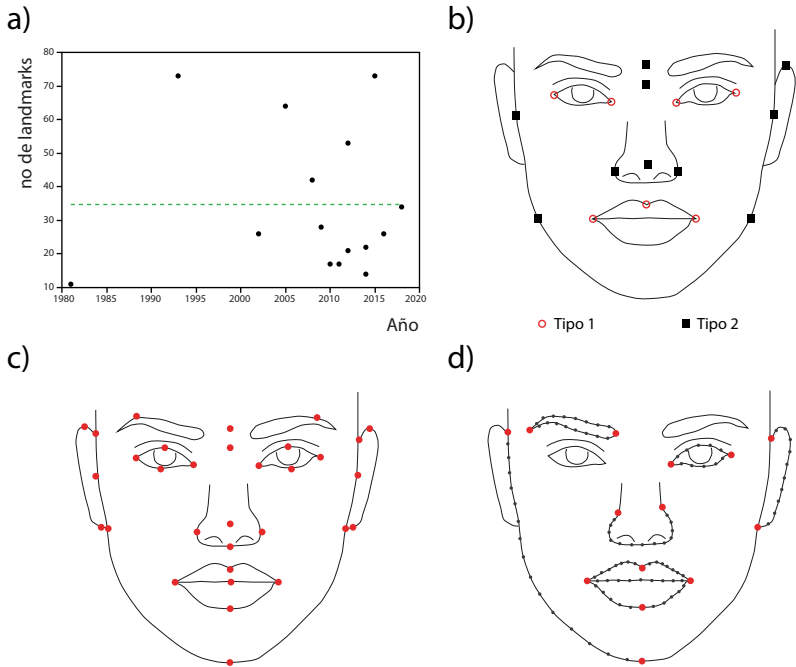
Algunos estudios previos han ayudado a la caracterización de poblaciones humanas en diversas regiones, no todos con enfoque forense, pero que representan una aproximación de interés para el campo antropológico forense. Muchos trabajos de variación poblacional no fueron realizadas en revistas de interés forense (Hammond et al., 2004; Larrabee et al., 2004; Ercan et al., 2008; Farrera et al., 2016) empero pueden ser referencia para su aplicación en dicho campo.

Asimismo, recientemente se ha argumentado poca utilidad de la antropometría como medio de identificación (Kleinberg et al., 2007), aunque este trabajo fue realizado con solo cuatro puntos. Cualquier especialista en morfología craneofacial podría argumentar que el número de *landmarks* sesga los resultados del análisis realizado. ¿Quién caracterizaría la cara humana con un protocolo de cuatro puntos faciales?

Un modelo basado en evidencia (ver sección de elección de *landmarks*), daría cuenta que la caracterización morfogeométrica incluye, por lo menos un set básico de 26 puntos basado en (Farrera et al., 2016) con ampliaciones a 42 puntos (Ercan et al., 2008) y protocolos limitados con 11 puntos como (Farkas y Cheung, 1981). En teoría, entre mejor representada este la forma de la cara, más poder de discriminación se obtendrá, explicación del por qué Kleinberg et al., (2007) encuentra poca discriminación, usando cuatro *landmarks* faciales (exocantion nasion y stomion), resta adherir a esto la discusión sobre las limitantes del método de distancias directas o y/o ángulos, ya que en estas metodologías se pierde la información de la forma (Richtsmeier et al., 2002), la complejidad craneofacial como estructura irregular en cuanto a dimensiones (White y Folkens, 2005), limita que con pocas distancias se represente la forma de ésta. La evidencia de la potencia del uso de la morfometría geométrica para el estudio de formas es incuestionable, a continuación, se hace una propuesta de metodología holística para la comparación facial forense integrando al protocolo de la FISWG, aunque mejorando con una base estadística multivariada, bajo la perspectiva de modelos hiperdimensionales multivariados.

### Elección de *landmarks*

Como se detallaba arriba, dentro de los protocolos de *landmarks* faciales existen acercamientos con 11 puntos como (Farkas y Cheung, 1981), 14 puntos derivando 13 distancias (Sforza et al., 2014), 17 puntos derivando 20 distancias lineales (De Moraes et al., 2011), 17 puntos (Klingenberg et al., 2010), 21 puntos (Toma et al., 2012), 22 puntos (Paternoster et al., 2012), 26 puntos (Vioarsdottir et al., 2002; Farrera et al., 2016), 28 puntos (Ozdemir et al., 2009), 34 puntos (Quinto-Sánchez et al., 2015, 2017, 2018), 42 puntos (Ercan et al., 2008), 53 puntos (Liao et al., 2012), 64 puntos (Fink et al., 2005), 73 puntos (Burton et al., 1993; Fagertun et al., 2015) y



**Figura 3.** Landmarks o puntos faciales

a) gráfica de dispersión entre los años de publicación y el número de *landmarks* empleados en para el fenotipado facial. B) Tipos de *landmarks* círculos rojos vacíos, *landmarks* tipo 1 (anatómicos), cuadrados rellenos negros, *landmarks* tipo 2 (matemáticos). c) protocolo de 34 *landmarks* propuesto para la caracterización facial, ocho puntos sagitales y 26 bilaterales. d) *landmarking* específicos en diversas regiones de la cara, ceja, ojo, nariz, boca, oreja y forma de la cara.

Fuente: Elaboración propia

protocolos que usan el escaneo facial total como método de análisis (e.g. Djordjevic et al., 2013; Peng et al., 2013; Claes et al., 2014b; a, 2018), siendo lo más detallado posible sin la invasividad de las tomografías. Estas publicaciones dan cuenta de la complejidad ya descrita del fenotipo facial y de cómo puede ser caracterizada para fines forenses el rostro. Para ser más específicos, si se observa la figura 3a, se podrán dar cuenta de la tendencia de las publicaciones antes citadas, la media de puntos empleados es 34.7, número que tendremos en cuenta para la argumentación de los números mínimos a emplear.

Para el caso del análisis facial, se recomienda el uso de un protocolo de puntos o *landmarks* tipo 1 (anatómicos) y 2 (matemáticos)

sensu (Bookstein 1991, Zelditch et al 2010, ver figura 3b para ejemplos), sagitales y bilaterales (figura 3c). Como la intención es la identificación forense, el protocolo de *landmarks* tiene que estar distribuido de manera uniforme en la cara, de esta manera, como ya se ha mencionado, se representará mejor la varianza genética del rostro.

La evidencia dicta (figura 3a) que un protocolo de 34 puntos es suficiente para caracterizar la forma de la cara (figura 3a, tabla 1), cómo mínimo pondremos la mediana 26 puntos (e.g. Farrera et al., 2016) y el percentil 75 como máximo, es decir 53 puntos (e.g. Liao et al., 2012). El rango de 27 puntos deja que los peritos o investigadores puedan adecuar el protocolo para fines de cada investigación forense, es decir, la

**Tabla 1.** Protocolo de landmarks para la IFF por medio de morfometría geométrica

No.	Nombre	Definición anatómica
<b>Landmarks sagitales</b>		
1	Glabella	El punto sobre la línea media a la altura de los arcos superciliares
18	Nasion (sellion)	El punto medio de la sutura nasofrontal
19	Pronasal	El punto más prominente de la nariz
21	Subnasal	El punto medio donde se une el borde inferior del septum nasal, la partición que divide las narinas y la porción cutánea del labio superior
23	Labiale superius	El punto medio del borde vermilion sobre el labio superior
26	Stomion	El punto medio de la fisura labial cuando los labios están cerrados naturalmente
29	Labiale inferius	El punto medio del borde vermilion del labio inferior
30	Gnathion	El punto más bajo en la línea media del borde inferior de la barbilla
<b>Landmarks Bilaterales</b>		
2,10	Frontotemporale	El punto más medial sobre la cresta temporal del hueso frontal
3,11	Superaurale	El punto máximo en el borde superior de la oreja
4,12	Tragion	La punta del tragus
5,13	Subaurale	El punto más bajo en el borde inferior de la oreja
6,16	Exocanthion	La esquina exterior de la hendidura del ojo derecho donde los párpados se encuentran.
7,15	Palpebrale superiorus	El punto más alto en el margen superior de la porción media del párpado
8, 14	Endocanthion	La esquina interior de la hendidura del ojo derecho donde los párpados se encuentran, no es caruncular
9, 17	Palpebrale inferiorus	El punto más bajo en el medio del margen del párpado inferior
20,22	Alare	El punto más lateral sobre el ala nasal
24,28	Crista philtrum	El punto sobre la cresta de la depresión infranasal (philtrum), cuando este cruza con el borde vermilion
25,27	Cheilion	La esquina externa de la boca donde los bordes externos del vermilion superior e inferior se encuentran
31,33	Otobasion superiorius	El punto superior de la unión entre el lóbulo y la cabeza (punto de inserción de la oreja)
32,34	Otobasion inferiorius	El punto inferior de la unión entre el lóbulo y la cabeza (punto de inserción de la oreja)

Ver **Figura 3a** para referencia anatómica

Fuente: Elaboración propia a partir de los protocolos de Farkas y Cheung, (1981; Ercan et al., (2008) y Farrera et al., (2016)

calidad de la imagen, iluminación, etc. Además, el empleo de un protocolo como este permite la repetibilidad y reproducibilidad del protocolo, permite el acceso a datos de comparación y hace los dictámenes más confiables. La **tabla 1** tiene las definiciones de los puntos.

En adición, con un set de 34 puntos, realizando una combinación entre cada par de puntos usado en el protocolo, sin repeticiones, se pueden obtener 1122 distancias faciales, usando la fórmula de distancia euclídea entre dos puntos en 2 o 3D; este rubro dota a la morfometría geométrica de una herramienta adicional sobre la morfometría tradicional. El procedimiento anterior se puede generar empleando el *Euclidean Distance Matrix Analysis* (EDMA, Lele y Richtsmeier, 1991) o simplemente, calculando las distancias entre cada par de *landmarks* en R o Python.

La conjetura de la distancia entre cada par de *landmark* siempre será un punto para analizar antes de caracterizar un fenotipo facial, entre mayor sea la cantidad de puntos en el protocolo mejor representada estará la forma de este, aunque siempre habrá una forma más precisa ya que la cantidad de puntos a capturar en una forma es infinitesimal. Sin embargo, si se excede en colocar puntos en alguna estructura estos puntos aumentarán la multicolinealidad y por ende el poder de discriminación bajará.

Resta decir que, si bien siempre se recomienda el uso de la MG, la toma de distancias lineales es una metodología que si se aplica en un contexto multivariado (morfometría multivariada), los resultados serán de buena calidad.

Ahora bien, si es necesario elevar la calidad y precisión de los análisis se sugiere el empleo de un *landmarking* más detallado centrado en capturar la forma de los ojos, cejas, nariz, boca, forma de la cara, mentón, etc. (**figura 3d**), por medio del uso de *semilandmarks* (Perez et al., 2006). La generación de estos protocolos de *landmarks* para confronta, requerirá de mayor tiempo de realización del marcado de puntos.

## Landmarking o fenotipado

Una vez establecido el set de *landmarks*, el procedimiento estándar es realizar un *landmarking* o fenotipado, es decir, posicionar en cada uno de los individuos analizados, los puntos anatómicos a emplear, siempre en un estricto orden, para su posterior comparación dentro de una base de datos referencia. En México, se tiene la base de datos de Caramex (Serrano et al., 2000), lamentablemente no son datos libres; aunque han sido utilizados para fines forenses (Farrera et al., 2016). Por ello, existe una necesidad para generar bases de datos referencia y que cualquier comparación facial forense pueda lograr una certidumbre estadística robusta.

En contraposición, el proyecto CANDELA (Ruiz-Linares et al., 2014; Quinto-Sánchez et al., 2015, 2018) ha generado una base de datos multinivel, que si bien no está diseñada para fines forense, la base de datos facial es de suma importancia para el área. Las coordenadas de *landmarks* son libres (Quinto-Sánchez et al., 2018) y pueden usarse como referencia de comparación. Se trata de un protocolo de 34 puntos faciales tridimensionales ([laofunam.com/data/](http://laofunam.com/data/)) con muchos metadatos asociados, incluso valores de ancestría.

Para realizar el *landmarking* se pueden emplear las plataformas TPSDig<sup>2</sup>(2D), Geomorph<sup>3</sup>(2-3D), Image J<sup>4</sup>(2D), PhotoModeler<sup>5</sup>(3D por fotogrametría) o Landmark<sup>6</sup>(3D en escaneos de superficie o reconstrucciones de TAC). El fenotipado también puede realizarse por medio de un escaneo de superficie, mediante algún dispositivo como Capture de 3D Systems o Go Scan 3D de Creaform; por medio de fotogrametría de alta resolución usando software como PhotoScanPro<sup>7</sup> o Photomodeler Scanner; o finalmente, mediante la captura directa de los puntos por medio de un brazo digitalizador MicroScribe. En todos los casos, la salida del fenotipado, en los programas o dispositivos descritos, es un archivo con coordenadas de *landmarks* en 2 o 3D, sobre este archivo es que puede comenzarse a realizar un análisis morfométrico.

2 Rohlf FJ (2004) tpsDig, (<http://life.bio.sunysb.edu/morph/>)

3 Adams D, Collyer M, Kalliontzopoulou A (2018). Geomorph. (<https://cran.r-project.org/web/packages/geomorph/index.html>)

4 Rasban W (2018) Image J Mac Os X versión. (<https://imagej.nih.gov/ij/index.html>)

5 Eos-Systems. (2014). PhotoModeler. Available from: [www.photomodeler.com](http://www.photomodeler.com)

6 Wiley et al., (2005). [www.idav.ucdavis.edu/research/EvoMorph](http://www.idav.ucdavis.edu/research/EvoMorph)

7 Agisoft 2018 PhotoScan Pro. Disponible en: <http://www.agisoft.com/>

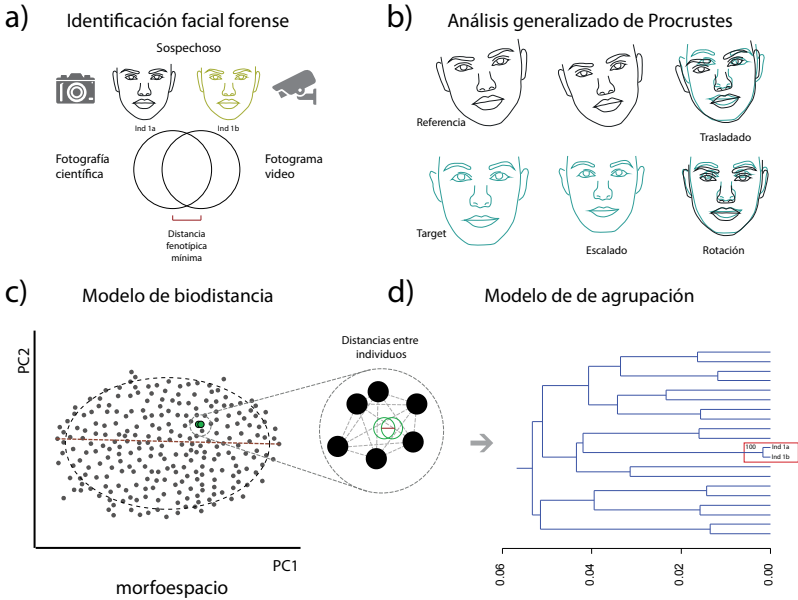
### Estudio de error intraobservador

Cualquier técnica de medición (e.g. fenotipado) requiere una capacidad del observador de realizar mediciones precisas y caracterizar su error de registro (Cramon-Taubadel et al., 2007), al ser el error es una constante en los estudios de caracteres morfométricos (Yezerinac et al., 1992; Arnqvist y Martensson, 1998; Zelditch et al., 2004), para este caso del rostro los resultados serían incompletos sin la evaluación cuantitativa de su incertidumbre (Taylor y Kuyatt, 2009). Por este argumento es que se recomienda el fenotipado en dos eventos independientes para asegurar que el error de medición no es un factor en el análisis. Si bien, esta es la forma más sencilla de caracterizar el error, su análisis constante es un

requerimiento base de cualquier perito, investigador o laboratorio de análisis facial forense, el reporte de valores de error en función del tiempo dará mayor certidumbre a cualquier análisis.

### Modelo estadístico

El modelo nulo es que la biodistancia entre un fenotipo facial y su réplica (e.g. foto de sospechoso en prisión *versus* foto en video) será la mínima distancia en un morfoespacio de forma (figura 4). El modelo anterior se basa en un análisis de la distancia biológica, o la biodistancia, que emplea datos derivados de fenotipos para reflejar la relación de la población (similitud / disimilitud) a través de la aplicación de métodos estadísti-



**Figura 4.** Modelo estadístico hiperdimensional multivariado para la identificación facial forense, método morfogeométrico

a) planteamiento de la IFF donde se compara una fotografía técnica científica y una fotografía obtenida de una cámara de vigilancia o identificación oficial. b) Análisis Generalizado de Procrustes, donde se eliminan los efectos de escala traslación y rotación, dejando únicamente la información de forma de cualquier estructura a analizar. c) Modelo de biodistancia donde para el caso de la identificación facial forense, la distancia entre un individuo y su réplica o copia deberá ser la menor de un fenoespacio (base de datos) de una población. d) Modelo de agrupación propuesta para el presente protocolo, dendrograma resultado de 10,000 permutaciones donde se puede observar que el resultado agrupa a los Ind 1a y b con un porcentaje de clasificación del 100% y siendo estadísticamente significativo para un  $\alpha=0.01$

Fuente: Elaboración propia

cos multivariantes (Pilloud y Hefner, 2016), un método de la llamada biometría (Sokal y Rohlf, 1995). Entonces, basado en modelos de biodistancia fenotípica, se espera que del morfoespacio generado para la comparación la distancia mínima entre un individuo y su duplicado (figura 4a).

Se destaca que las comparaciones por medio de fotografías 2D presentan mayores limitaciones, ya que se debe asegurar que la posición de las fotos empleadas en la comparación sea la misma, de lo contrario, es probable que la comparación facial pierda poder de resolución. La caracterización de la forma por métodos multivariados se recomienda hacer en las siguientes plataformas: MorphoJ, TPSrelw o Geomorph. En morfometría geométrica, una vez sometidos los datos a un análisis generalizado de Procrustes (GPA, figura 4b) método de superposición que utiliza matrices ortogonales para hacer coincidir las configuraciones de *landmarks* con transformaciones de similaridad hasta lograr que las distancias euclídeas sean mínimas bajo el criterio de mínimos cuadrados (Dryden y Mardia, 1998), si se usa MorphoJ, se emplea un *full Procrustes Analysis*, que da menos peso a las observaciones que están lejos de la dimensión de una variable media y, por lo tanto, estas serán más robustas contra la influencia de individuos fuera de rango (Klingenberg, 2008). Luego entonces, en este punto se tiene un espacio de forma (*shape*) invariante a los efectos de rotación, traslación y escala (figura 4b, Rohlf y Slice, 1990; Small, 1996; Dryden y Mardia, 1998). Para visualizar dicho resultado se hace uso del Análisis de Componentes Principales de las coordenadas ajustadas por Procrustes (Rohlf, 1993). Como lo define Klingenberg, (2011) el análisis de componentes principales (PCA, figura 4c) es uno de los métodos más ampliamente utilizados para el análisis multivariado exploratorio. Se puede usar para mostrar las características principales de la variación de forma en un conjunto de datos y también como un método de ordenación para descubrir patrones en las relaciones entre las observaciones (Klingenberg, 2011). Como resultado se tendrá un morfo o fenoespacio, donde pueden ser visualizadas las relaciones de los individuos imputados. Se recomienda el uso de aquellos PCscores que tengan más de 1% varianza explicada.

Para generar una comparación más precisa se recomienda el uso de un conglomerado de las distancias lineales entre cada par de individuos del PCA (figura 4d). Empleando un algoritmo *Unweighted Pair Group Method using Ari-*

*thmetic averages* (UPGMA) (Sokal y Michener, 1958). Dicho procedimiento se puede realizar en un sin fin de programas cerrados de estadística o algunos de código abierto como Past 3 o R. En el caso de R, se tiene la paquetería de *PVclust* para realizar un agrupamiento jerárquico con valores *p*. Siguiendo la lógica del planteamiento inicial, se espera que las dos caras analizadas compartan la mínima distancia fenotípica entre cualquier par de individuos de un set de datos a comparar. La matriz de distancias puede derivarse desde los scores del PCA (filtrados por mayor cantidad de varianza), y sobre esta matriz generar un dendograma con 10000 permutaciones por lo menos. Las permutaciones ayudan a conocer qué tan resistente es el resultado de la agrupación además de poder brindar al usuario si la clasificación es significativa para algún intervalo de confianza determinado (e.g.  $\alpha=0.001$ ). Para los no usuarios de R, se puede realizar un procedimiento similar en Past 3 (Hammer et al., 2001), que tiene todo un segmento de su plataforma de dedicado a los *clusters*. Asimismo, en el programa JMP puede ser calculado el mismo procesamiento con la ventaja de tener una salida a una historia de agrupamiento donde se puede conocer la distancia entre cada *cluster*, hasta que se ha finalizado con cada uno de los individuos en la matriz. Este mismo procedimiento puede ser calculado sobre cualquier matriz de datos, in-

**Tabla 2.** Muestra empleada para la validación del método morfogeométrico

Población	Mujeres	Hombres
Brasil	10	7
Chile	16	9
Colombia	13	13
México	57	43
Perú	19	14
<b>Ancestría</b>		
Americana	10	8
Europea	6	2
Mestiza	81	52

Distribución por población sexo y ancestría

Fuente: Elaboración propia

cluso en *excel*, buscando las distancias menores entre cada par de individuos.

Cabe destacar que al ser un método de análisis estadístico multivariado es muestra dependiente, por lo que los porcentajes de clasificación fluctuarán sin duda. El principio de correspondencia entre fenotipos es un método poderoso para discriminar rostros.

### Experimento de validación

Como una forma de dar certidumbre al método presentado, se generó un pequeño experimento para validar los datos presentados. Se tomaron 200 individuos de la muestra CANDELA (tabla 2), que como se ha mencionado fueron fenotipados con un set de 34 puntos faciales por medio de fotogrametría. Cada individuo fue digitalizado dos veces, por lo que la matriz de datos era de 400 individuos por 34 puntos en 3D. Como lo cita el protocolo, se realizó el GPA

por medio de la plataforma *MorphoJ*. Posterior a ello, se calculó un Análisis de Componentes Principales (PCA), salvando las coordenadas del morfoespacio resultante. No fue estandarizado el sexo, edad o ancestría, para conocer si estos efectos pudieran afectar la clasificación de un rostro haciendo la menor cantidad de modificaciones estadísticas en la base de datos. Por medio, R fue calculada la matriz de distancias entre los individuos. La hipótesis era que las agrupaciones de cada individuo y su repetición serían aquellas que tendrían la distancia más corta entre los individuos, en el 100% de los casos. Se debe señalar que los resultados del PCA mostraron que solo 17 componentes principales tenían más de 1% de varianza explicada, por lo que con estos componentes es con los que se construyó un conglomerado UPGMA con 10,000 iteraciones.

Los resultados indican que de las 200 agrupaciones correctas que se esperaban, 12 casos se clasificaron de manera incorrecta y, por lo

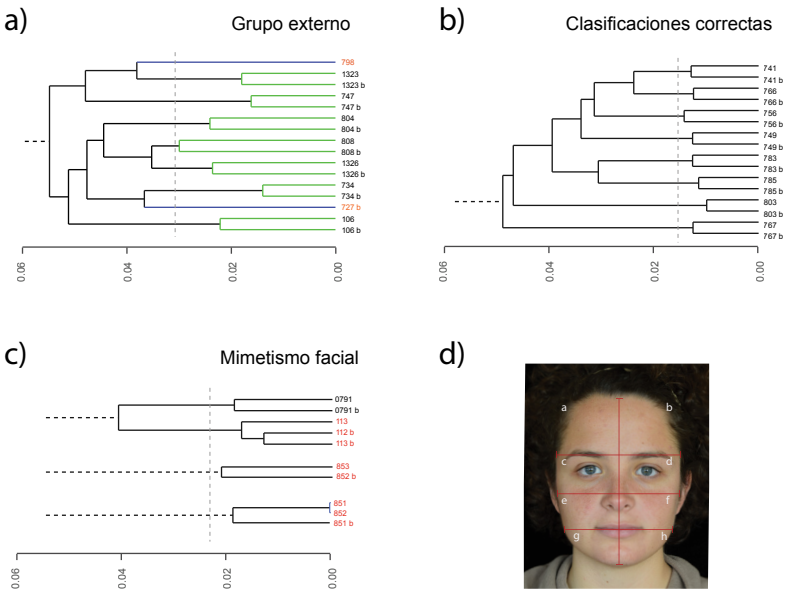


Figura 5. Resultados de la aplicación del protocolo de IFF morfométrico

a) ejemplo de un resultado de mal clasificación por grupo externo, la distancia entre el par de individuos clasificados es menor por lo que la definición del pareo no es afectado. b) Ejemplos de pares clasificatorios correctos, se puede observar la clasificación de pares correcta en cada uno de los casos. c) ejemplos de mimetismo facial donde un par de individuos no se agruparon como la mínima distancia fenotípica.

Fuente: Elaboración propia



cual, 185 casos se clasificaron de manera correcta (figura 5). Es importante aclarar que, aunque 12 individuos no se agruparon con su respectivo individuo, éstos no afectan las clasificaciones de un par de individuos (figura 5a), ya que su agrupación es externa al par correcto y la distancia entre el par siempre fue menor. Lo anterior es un resultado de la técnica de *cluster*, empero una buena interpretación de los resultados hará que estos subproductos de la técnica estadística no sean un problema en la praxis. Aunado a esto se presentaron tres casos de mimetismo facial, es decir la coincidencia fenotípica entre dos individuos que no son la misma persona en una población determinada (figura 5, Gibelli et al., 2017). Cuando fue revisada la digitalización se encontró que el motivo de estas eran errores asociados a las técnicas de fenotipado, concretamente, en el escalado de los modelos fotogramétricos. Una vez corregidos estos tres casos la posibilidad de mimetismo facial se eliminó. Con estos valores, se asegura que la técnica presenta un 94% (n=188 individuos clasificados como correctos) de confiabilidad para la muestra experimental aquí estudiada. Además, las permutaciones realizadas se mantuvieron entre el 100 y 72%, y el cálculo de los *p*-valores dan certidumbre a las clasificaciones, empleando la paquetería de *PV-clust* se pueden obtener clasificaciones *a priori* y *posteriori*, además de significación estadística.

### Análisis no métrico, morfoscópico o visual

Desde la conformación del bertillonage la identificación facial por medio de referencias visuales ha sido una constante en las ciencias antropológicas, siendo Francia e Italia cunas de estas aproximaciones. En México hacia 1892, se comenzó a constituir gabinetes de antropología criminal que incluyeron todo el protocolo del bertillonage, entre ellos fotografías de delinquentes en Puebla y la Ciudad de México. Aunque cargadas de un determinismo fuerte y racismo, el uso de caracteres faciales y su relación con la criminalidad ha llamado la atención de especialistas. Durante un periodo largo los estudios de corte antropológico forense se concentraron en análisis craneofaciales, en su mayoría, algunos métricos y de superposición craneofacial. En una fase más actual, se realiza el proyecto “la cara del mexicano” que es un sistema de retrato hablado asistido por computadora para la población mexicana, que es la primera aportación para la

identificación facial forense, siendo la contribución más relevante la base de datos fotográfica. Sobre esta base de datos es que se construyeron muchas contribuciones de análisis facial poblacional mexicana (Villanueva, 2003, 2007); pero sin duda la más destacada, es la reciente contribución de Farrera et al., (2016) donde se analiza con una perspectiva poblacional la variación del fenotipo facial en México. Como se vislumbra hasta el anterior trabajo citado, no existe una caracterización profunda de la variabilidad mexicana, mucho menos una línea de investigación sobre aplicaciones forenses.

En la actualidad, la dentro de los protocolos de identificación de víctimas de desastres (DVI) de la Interpol se incluye un apartado para la toma de datos fenotípicos faciales (IVIC-INTERPOL, 2018). En este sentido otros autores han conformado sistemas de clasificación de rasgos faciales similares (Roelofse et al., 2008; Ritz-Timme et al., 2011a; b) convergiendo en un manual que la comunidad científica reconoce como de importancia y que es citado de manera generalizada en la literatura especializada, el *Anthropological Atlas of Male/Female Facial Features* de Ohlrogge et al., (2009). Sobre la base de estos trabajos es que se han realizado algunos estudios poblacionales (Ritz-Timme et al., 2011b) y ajustes en la metodología (Ritz-Timme et al., 2011a), lo interesante del este último trabajo es que intentan dar frecuencias por carácter en tres poblaciones (Alemania, Italia y Lituania), identificando similitudes importantes, pero también caracteres específicos, por ejemplo bajos porcentajes de forma de la cabeza o la nula aparición de algún carácter. El análisis contó con 900 fotografías (300 por país) lo que es una buena referencia para comparación poblacional. Limitaciones sobre el método no métrico han sido reportadas y es de importancia su revisión (İşcan y Loth, 2000; Roelofse et al., 2008), lo que se ha determinado es que se requiere de un entrenamiento visual importante para reducir la subjetividad de la evaluación (Ritz-Timme et al., 2011a), además de validaciones de métodos en cada país. Por ejemplo, el trabajo realizado para conocer las frecuencias de las 10 formas de Potch en población mexicana (Villanueva, 2003).

Además, existe suficiente evidencia de que el uso de caracteres biométricos suaves (*soft biometric traits*), como lunares, cicatrices, tatuajes faciales, manchas, arrugas, etc.; permite coadyuvar a la IFF (Jain y Park, 2009; Park y Jain, 2010; Tome et al., 2015).

## PROTOCOLO DE ANÁLISIS DE CARACTERES MORFOSCÓPICOS FACIALES

Para construir el análisis morfoscópico se retoman, como mínimo, los 43 caracteres incluidos en el Atlas de Ohlrogge et al., (2009) usado por Ritz-Timme et al., (2011a), algunos otros atlas han incluido 23 caracteres o tan solo seis caracteres en el protocolo de INTERPOL. La **tabla 3** tiene los 43 caracteres y sus niveles. Por ejemplo,

el primer carácter de la lista es forma de la cabeza y puede tener seis diferentes formas (1-6). Entonces, la matriz de datos podrá tener alguno de estos números, mismos que cambian de acuerdo con cada carácter. Cómo mínimo se presentan tres niveles (1-3).

Adicionalmente, se divide la cara en ocho cuadrantes (**figura 5d**, *sensu* Choudhury y Mehta, 2012): frente izquierda y derecha (a-b), ojo izquierdo-derecho (c-d), mejilla izquierda y derecha (e-f) y mentón izquierdo y derecho (g-h),

**Tabla 3.** Lista de caracteres macromorfoscópicos a utilizar en la evaluación no métrica

Forma facial (6)	Eje del párpado (expresión neutral)(3)
Altura facial (3)	Pliegue del párpado inferior (3)
Anchura facial (3)	Raíz nasal (3)
Línea de pelo frontal (5)	Longitud del puente de la nariz (3)
Diagonal de la frente (3)	Amplitud del puente de la nariz (3)
Altura de la ceja (3)	Proceso de puente de nariz (3)
Densidad de cejas (3)	Perfil de nariz (3)
Forma de la cejas (6)	Orientación de la punta de la nariz (3)
Uniceja o monoceja (4)	Forma de la punta de la nariz (3)
Distancia entre los párpados superiores-ceja (3)	Incisura/hendidura de la punta de la nariz (2)
Pliege sobre el parpado superior(2)	Protrusión nasal (3)
Amplitud nasal (3)	Transición del menton (3)
Longitud de la región alar (3)	Protrusión del menton (3)
Altura de la región alar (3)	Hoyuelo del mentón (3)
Fosas nasales (5)	Altura de la oreja (3)
Altura del philtrum (3)	Amplitud de la oreja (3)
Profundidad del philtrum (2)	Tamaño del lóbulo (3)
Forma del philtrum (2)	Fijación del lóbulo (3)
Muesca/escotadura de labio superior (3)	Protrusión del lóbulo (3)
Amplitud labial (expresión neutral) (3)	Transición cabeza / cuello (3)
Orientación de la esquina de la boca (expresión neutral) (3)	Pronunciación de pómulos (3)
Forma del mentón (3)	

Fuente: Ritz-Timme et al., (2011a)

mismos que se adicionan a la matriz de análisis con la opción para seis caracteres más de presencia-ausencia con la frecuencia del mismo: cero para ausencia y 1 hasta n cuando el carácter este presente. Los caracteres son: cicatrices, lunares, pecas, verrugas, manchas, arrugas. Al ser un modelo abierto, pueden ser incluidos otros caracteres como tatuajes, marcas de acné, entre otros. La idea de la inclusión de estos caracteres, procede de un protocolo automatizado que parece dar resultados, incluso en gemelos homocigóticos (Srinivas et al., 2012). La matriz final se compondrá de 91 caracteres. Es importante aclarar que a diferencia del uso del PCA en el caso morfométrico, aquí la matriz de caracteres puede ser utilizada de forma directa.

Luego entonces, con la matriz obtenida arriba, y realizando un acercamiento analítico similar al morfométrico, se realizará el cálculo de la distancia euclídea entre cada par de individuos por medio de la plataforma R (ver sección métrica). Se obtendrá un dendrograma para 10,000 permutaciones, bajo la misma hipótesis de biodistancia planteada anteriormente.

Como en el caso morfométrico, para que este análisis pueda llevarse a cabo se necesitará una base de datos poblacional para comparación. INTERPOL lanzó una base de datos de imágenes faciales en noviembre de 2016, con el apoyo de su socio estratégico, Safran Identity & Security (antes Morpho), hoy Idemia, empero su uso es reservado para sistemas de procuración de justicia que consuman su producto. En contraste, laboratorios de universidades públicas serían mejores receptores de proyectos para la generación de bases de datos referencia poblacional con fines forense, de libre acceso para investigación y desarrollo, permitiendo la tener una gran cantidad de datos para realizar estimaciones más precisas.

### Técnicas auxiliares

Algunas técnicas imagenológicas pueden coadyuvar en el proceso de la IFF. Concretamente, el uso de archivos de rayos x o tomografías en un historial médico pueden ser relevantes. La aplicación de la radiología forense (Guglielmi y Nasuto, 2014) para caso de identificación ha sido validada para senos frontales y paranasales (David y Saxena, 2010; Verma et al., 2015, 2017; Gach et al., 2018), para el caso de las suturas craneales (Chandra Sekharan, 1985; Rogers y Allard, 2004; Jayaprakash y Srinivasan, 2013)

o el uso de tomografías para la identificación (Haglund y Fliagner, 1993; Dedouit et al., 2007), ya que en todos los casos se logra tener patrones de variación normal individualizantes muy precisos. La inclusión de esta información es de carácter opcional y cuando las condiciones del caso lo faciliten, el perito no debe olvidar que puede valerse de estas herramientas para su caracterización. La mayoría de estos casos se realiza una confronta de los patrones visualizados en los estudios imagenológicos (*antemortem*) contra alguna fotografía (comparación de tejidos blancos, e.g. perfil) o radiografía (realizada durante la detención o *postmortem*).

### Integración del protocolo de identificación facial forense

Finalmente, la integración de un protocolo generalizado para la IFF (figura 6a) es esencial en la perspectiva basada en evidencia, ya que al tiempo logrará la sistematización de la praxis y permitirá la evaluación de resultados; además de permitir su uso en diversos contextos poblacionales. Dentro del protocolo, los ejes más importantes son: 1) el fenotipado (figura 6b), 2) la sistemática evaluación de factores de error en las mediciones morfométricas, 3) la aplicación correcta del modelo estadístico en el análisis de datos y 4) la validación de los resultados/dictamen.

Respecto del flujo de trabajo (figura 6a) es importante señalar que el orden en la aplicación de los métodos métrico, morfoscópico y técnicas auxiliares es irrelevante, empero el perito o investigador debe poner énfasis en la combinación de metodologías y la reiteración de resultados. En sintonía con las recomendaciones de buena praxis del FISWG donde se aclara que el uso de técnicas de manera independiente no es recomendable. El enfoque del presente protocolo se basa en la reiteración de resultados, más que en la creencia de la falta de poder estadístico para la identificación.

Por otro lado, la validación de los resultados es de suma importancia, el uso de dos paqueterías de estadística permitirá comparar resultados vía dos plataformas, validando que los resultados son iguales. A lo largo del texto se ha sugerido emplear R para los análisis ya que, como parte del dictamen se pueden anexar los scripts empleados lo que, sin duda, aumenta la



Figura 6. Modelo generalizado de Identificación Facial Forense

a) flujo general de trabajo en la IFF, b) opciones para la fenotipado del rostro humano, c) matrices de datos de caracteres discontinuos o no métricos y de coordenadas de landmarks en el caso de los métricos. Como se puede ver en la figura, en el caso de las técnicas auxiliares se pueden hacer acercamientos métricos, por ejemplo, capturando la forma de los senos frontales, hueso intersuturales o wormianos o suturas; o realizando una clasificación macromorfoscópica de los tipos de huesos wormianos, suturas o senos, generando entonces una matriz no métrica. d) el modelo estadístico es mucho más simple en el caso de elegir caracteres macromorfoscópicos, que solo conlleva la aplicación de un agrupamiento o cluster. Empero, en el caso del acercamiento métrico por morfometría geométrica, existen dos pasos previos, el GPA y un PCA posterior, para entonces, poder general un análisis de agrupamiento. En ambos casos el cluster se genera mediante un algoritmo UPGMA, 10000 permutaciones y la generación de un valor p.

Fuente: Elaboración propia

reproducibilidad y repetibilidad del protocolo usado.

El control de error de observación también es un punto fundamental, no solo para el caso de la morfometría geométrica, los caracteres morfoscópicos también deben ser evaluados, caracterizando que su posible efecto es menor en términos estadísticos (e.g. Kamnikar et al., 2018).

Un aspecto relevante del método estadístico es la generación de permutaciones, un dictamen mostrando resultados sin el uso de esta técnica de remuestreo, le resta certidumbre para los fines forenses. En el caso de la presente propuesta, se debe verificar tanto por distancias en el historial de agrupaciones, como en el cluster

resultante, que las agrupaciones son consistentes. Además, la significación estadística de cada agrupación es otro rubro que se debe cotejar para que un resultado sea concluyente.

Finalmente, mediante la ayuda de una lista de cotejo se debe tener un revisor (perito o investigador de mayor experiencia en la materia del laboratorio) para los análisis, conclusiones y dictamen realizados. Según la guía ALAF las categorías de identificación son: identificación positiva, exclusión e identificación inconcluyente. Para el primer caso, la identificación positiva, todos los análisis deben concurrir, si alguno de los resultados no es concordante, entonces, siguiendo un modelo estricto, debe ser clasificado como inconcluyente. Los criterios de exclusión, siguiendo la referencia del FISWG se relacionan

mucho con la calidad de la imagen digital, distorsiones ópticas, ángulos de toma, expresiones faciales y tiempo de toma de fotografías no muy distante (factor tiempo). El modelo de identificación facial forense debe ser integrado por lo menos con los módulos métrico y morfoscópico, siempre bajo los estándares que se han descrito en cada segmento.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE216318, y parcialmente beneficiado por el proyecto PAPIIT-DGAPA IA401818 “Proyecto NN: Colección Osteológica Nacional” y del Proyecto Conacyt de desarrollo científico para atender problemas nacionales PN-2016-2518 con el título “Proyecto NN: Protocolos de Identificación Humana, Colección Osteológica Nacional y Base de Datos de Personas No Identificadas y/o Desaparecidas”.

## REFERENCIAS CITADAS

- Arnqvist G, Martensson T. 1998. Measurement error in geometric morphometrics: empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. *Acta Zool Acad Sci Hungaricae* 44:73–96.
- Bastir M. 2008. A systems-model for the morphological analysis of integration and modularity in human craniofacial evolution. *J Anthropol Sci* 86:37–58.
- Bastir M, Rosas A. 2005. Hierarchical nature of morphological integration and modularity in the human posterior face. *Am J Phys Anthr* 128:26–34.
- Bastir M, Rosas A, O'higgins P. 2006. Craniofacial levels and the morphological maturation of the human skull. *J Anat* 209:637–54.
- Bookstein FL. 1997. *Morphometric tools for landmark data*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Burton AM, Bruce V, Dench N. 1993. What's the Difference between Men and Women? Evidence from Facial Measurement. *Perception* 22:153–176.
- Chandra Sekharan P. 1985. Identification of skull from its suture pattern. *Forensic Sci Int* 27:205–214.
- Choudhury ZH, Mehata KM. 2012. Robust Facial Marks Detection Method Using AAM And SURF. 2:708–715.
- Christensen AM. 2004. Assessing the variation in individual frontal sinus outlines. *Am J Phys Anthr* 127:291–295.
- Claes P, Hill H, Shriver MD. 2014a. Toward DNA-based facial composites: Preliminary results and validation. *Forensic Sci Int Genet* 13:208–216.
- Claes P, Liberton DK, Daniels K, Rosana KM, Quillen EE, Pearson LN, McEvoy B, Bauchet M, Zaidi AA, Yao W, Tang H, Barsh GS, Absher DM, Puts DA, Rocha J, Beleza S, Pereira RW, Baynam G, Suetens P, Vandermeulen D, Wagner JK, Boster JS, Shriver MD. 2014b. Modeling 3D Facial Shape from DNA. *PLoS Genet* 10:e1004224.
- Claes P, Roosenboom J, White JD, Swigut T, Sero D, Li J, Lee MK, Zaidi A, Mattern BC, Liebowitz C, Pearson L, González T, Leslie EJ, Carlson JC, Orlova E, Suetens P, Vandermeulen D, Feingold E, Marazita ML, Shaffer JR, Wysocka J, Shriver MD, Weinberg SM. 2018. Genome-wide mapping of global-to-local genetic effects on human facial shape. *Nat Genet* 50:414–423.
- Claes P, Walters M, Shriver MD, Puts D, Gibson G, Clement J, Baynam G, Verbeke G, Vandermeulen D, Suetens P. 2012. Sexual dimorphism in multiple aspects of 3D facial symmetry and asymmetry defined by spatially dense geometric morphometrics. *J Anat* 221:97–114.
- Coleman SR, Grover R. 2006. The anatomy of the aging face: volume loss and changes in 3-dimensional topography. *Aesthet Surg J* 26:S4-9.
- Cramon-Taubadel N Von, Frazier BC, Lahr MM. 2007. The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods, and modifications. *Am J Phys Anthr* 134:24–35.
- David MP, Saxena R. 2010. Use of frontal sinus and nasal septum patterns as an aid in personal identification: A digital radiographic pilot study. *J Forensic Dent Sci* 2:77–80.

- Dedouit F, Telmon N, Costagliola R, Oral P, Joffre F, Rougé D. 2007. Virtual anthropology and forensic identification: Report of one case. *Forensic Sci Int* 173:182–187.
- Djordjevic J, Pirttiniemi P, Harila V, Heikkinen T, Toma AM, Zhurov AI, Richmond S. 2013. Three-dimensional longitudinal assessment of facial symmetry in adolescents. *Eur J Orthod* 35:143–51.
- Dryden I, Mardia K. 1998. *Statistical shape analysis*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Dudzík B, Jantz RL. 2016. Misclassifications of Hispanics Using Fordisc 3.1: Comparing Cranial Morphology in Asian and Hispanic Populations. *J Forensic Sci* 61:1311–1318.
- Ercan I, Ozdemir ST, Etoz A, Sigirli D, Tubbs RS, Loukas M, Guney I. 2008. Facial asymmetry in young healthy subjects evaluated by statistical shape analysis. *J Anat* 213:663–9.
- Esteve-Altava B, Diogo R, Smith C, Boughner JC, Rasskin-Gutman D. 2015. Anatomical networks reveal the musculoskeletal modularity of the human head. *Sci Rep* 5:8298.
- Esteve-Altava B, Marugán-Lobón J, Botella H, Bastir M, Rasskin-Gutman D. 2013. Grist for Riedl's mill: a network model perspective on the integration and modularity of the human skull. *J Exp Zool B Mol Dev Evol* 320:489–500.
- Evidence-Based Medicine Working Group. 1992. Evidence-based medicine. A new approach to teaching the practice of medicine. *JAMA* 268:2420–5.
- Fagertun J, Wolffhechel K, Pers TH, Nielsen HB, Gudbjartsson D, Stefansson H, Stefansson K, Paulsen RR, Jarmer H. 2015. Predicting facial characteristics from complex polygenic variations. *Forensic Sci Int Genet* 19:263–268.
- Farkas LG, Cheung G. 1981. Facial asymmetry in healthy North American Caucasians. An anthropometrical study. *Angle Orthod* 51:70–7.
- Farrera A, Garcia-Velasco M, Villanueva M. 2016. Quantitative assessment of the facial features of a Mexican population dataset. *Forensic Sci Int* 262:283.e1-283.e9.
- Fink B, Grammer K, Mitteroecker P, Gunz P, Schaefer K, Bookstein FL, Manning JT. 2005. Second to fourth digit ratio and face shape. *Proc R Soc B Biol Sci* 272:1995–2001.
- Gach P, Tughtan-Torrents L, Delteil C, Adalian P, Piercecchi MD, Ebert LC, Gorincour G. 2019. Virtual reconstruction of paranasal sinuses from CT data: A feasibility study for forensic application. *Diagn Interv Imaging* 100:163–168.
- Gibelli D, De Angelis D, Poppa P, Sforza C, Cattaneo C. 2017. An Assessment of How Facial Mimicry Can Change Facial Morphology: Implications for Identification. *J Forensic Sci* 62:405–410.
- Gonzalez-Jose R. 2006. Aproximación a la historia y la estructura de las poblaciones a partir de la variabilidad en la morfología del cráneo. In: *Historia biológica del hombre en América*. Pachuca Hidalgo: Área Académica de Historia y Antropología, UAEH. p 199.
- González-José R. 2003. Poblamiento de la Patagonia, El. Análisis de la variación craneofacial en el contexto del poblamiento americano. Tesis doctoral. UB- Barcelona España.
- González-José R, Van der Molen S, González-Pérez E, Hernandez M. 2004. Patterns of phenotypic covariation and correlation in modern humans as viewed from morphological integration. *Am J Phys Anthropol* 123:69–77.
- Guglielmi G, Nasuto M. 2014. Forensic radiology special feature: preface. *Br J Radiol* 87:20140153.
- Haglund WD, Fligner CL. 1993. Confirmation of Human Identification Using Computerized Tomography (CT). *J Forensic Sci* 38:13459J.
- Hallgrímsson B, Jammiczky H, Young NM, Rolian C, Parsons TE, Boughner JC, Marcucio RS. 2009. Deciphering the Palimpsest: Studying the Relationship Between Morphological Integration and Phenotypic Covariation. *Evol Biol* 36:355–376.
- Hammer Ø, Harper D, Ryan P. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron* 4:9.
- Hammond P, Hutton TJ, Allanson JE, Campbell LE, Hennekam RC, Holden S, Patton MA, Shaw A, Temple IK,

- Trotter M, Murphy KC, Winter RM. 2004. 3D analysis of facial morphology. *Am J Med Genet* 126A:339–348.
- Heneghan C, Mahtani KR, Goldacre B, Godlee F, Macdonald H, Jarvies D. 2017. Evidence based medicine manifesto for better healthcare. *BMJ* 357.
- can MY, Loth SR. 2000. FACIAL IDENTIFICATION | Photo Image Identification. *Encycl Forensic Sci*:795–807.
- IVIC-INTERPOL. 2018. Guía de INTERPOL para la Identificación de Víctimas de Catástrofes (IVC), parte A. London, UK.
- Jain AK, Park U. 2009. Facial marks: Soft biometric for face recognition. In: 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). IEEE. p 37–40.
- Jayaprakash PT, Srinivasan GJ. 2013. Skull sutures: Changing morphology during preadolescent growth and its implications in forensic identification. *Forensic Sci Int* 229:166.e1-166.e13.
- Kahn DM, Shaw RB. 2010. Overview of current thoughts on facial volume and aging. *Facial Plast Surg* 26:350–5.
- Kamnikar KR, Plemons AM, Hefner JT. 2018. Intraobserver Error in Macromorphoscopic Trait Data, . *J Forensic Sci* 63:361–370.
- Katherine Spradley M, Jantz RL. 2016. Ancestry Estimation in Forensic Anthropology: Geometric Morphometric versus Standard and Nonstandard Interlandmark Distances. *J Forensic Sci* 61:892–897.
- Kleinberg KF, Vanezis P, Burton AM. 2007. Failure of anthropometry as a facial identification technique using high-quality photographs. In: *Journal of Forensic Sciences*. Vol. 52. Wiley/Blackwell (10.1111). p 779–783.
- Klingenberg CP. 2008. Morphological Integration and Developmental Modularity. *Ann Rev Ecol Syst* 39:115–132.
- Klingenberg CP. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Mol Ecol Resour* 11:353–357.
- Klingenberg CP, Wetherill L, Rogers J, Moore E, Ward R, Autti-Rämö I, Fagerlund A, Jacobson SW, Robinson LK, Hoyme HE, Mattson SN, Li TK, Riley EP, Foroud T. 2010. Prenatal alcohol exposure alters the patterns of facial asymmetry. *Alcohol* 44:649–57.
- Larrabee W, Makielski K, Henderson J. 2004. Variations in facial anatomy with race, sex, and age. In: Larrabee WF, Makielski K, Henderson J, editors. *Surgical anatomy of the face*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. p 22–28.
- Lele S, Richtsmeier JT. 1991. Euclidean distance matrix analysis: A coordinate-free approach for comparing biological shapes using landmark data. *Am J Phys Anthropol* 86:415–427.
- Liao Q, Jin X, Zeng W. 2012. Enhancing the Symmetry and Proportion of 3D Face Geometry. *IEEE Trans Vis Comput Graph* 18:1704–1716.
- Lieberman D. 2011. *The evolution of the human head*. The Belkna. (The Belknap Press of Harvard University Press, editor). Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Lieberman DE, Pearson OM, Mowbray KM. 2000. Basicranial influence on overall cranial shape. *J Hum Evol* 38:291–315.
- Machado CEP, Flores MRP, Lima LNC, Tinoco RLR, Franco A, Bezerra ACB, Evison MP, Guimarães MA. 2017. A new approach for the analysis of facial growth and age estimation: Iris ratio. *PLoS One* 12:e0180330.
- Martínez-Abadías N, Esparza M, Sjøvold T, González-José R, Santos M, Hernández M, Klingenberg CP. 2012. Pervasive genetic integration directs the evolution of human skull shape. *Evolution (N Y)* 66:1010–23.
- Mitteroecker P, Bookstein F. 2008. The evolutionary role of modularity and integration in the hominoid cranium. *Evolution* 62:943–58.
- De Moraes MEL, Hollender LG, Chen CSK, Moraes LC, Balducci I. 2011. Evaluating craniofacial asymmetry with digital cephalometric images and cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 139:e523–e531.
- Ozdemir ST, Sigirli D, Ercan I, Cankur NS. 2009. Photographic Facial Soft Tissue Analysis of Healthy Turkish Young Adults: Anthropometric Measurements. *Aesthetic Plast Surg* 33:175–184.

- Park U, Jain AK. 2010. Face Matching and Retrieval Using Soft Biometrics. *IEEE Trans Inf Forensics Secur* 5:406–415.
- Paschetta C, González-José R. 2012. Canalización e integración morfológica en poblaciones humanas modernas de diferentes contextos culturales y orígenes geográficos/Canalization and morphological integration in modern human populations from different cultural backgrounds and geographic orig. *Rev Argentina Antropol Biológica* 14:101–112.
- Paternoster L, Zhurov AI, Toma AM, Kemp JP, St Pourcain B, Timpson NJ, McMahon G, McArdle W, Ring SM, Smith GD, Richmond S, Evans DM. 2012. Genome-wide association study of three-dimensional facial morphology identifies a variant in PAX3 associated with nasion position. *Am J Hum Genet* 90:478–85.
- Peng S, Tan J, Hu S, Zhou H, Guo J, Jin L, Tang K. 2013. Detecting Genetic Association of Common Human Facial Morphological Variation Using High Density 3D Image Registration. *PLoS Comput Biol* 9:e1003375.
- Perez SI, Bernal V, Gonzalez PN. 2006. Differences between sliding semi-landmark methods in geometric morphometrics, with an application to human craniofacial and dental variation. *J Anat* 208:769–784.
- Pilloud M, Hefner JT. 2016. *Biological Distance Analysis*. London: Academic Press.
- Quinto-Sánchez M, Adhikari K, Acuña-Alonso V, Cintas C, Silva de Cerqueira CC, Ramallo V, Castillo L, Farrera A, Jaramillo C, Arias W, Fuentes M, Everardo P, de Avila F, Gomez-Valdés J, Hunemeier T, Gibbon S, Gallo C, Poletti G, Rosique J, Bortolini MC, Canizales-Quintero S, Rothhammer F, Bedoya G, Ruiz-Linares A, Gonzalez-José R. 2015. Facial asymmetry and genetic ancestry in Latin American admixed populations. *Am J Phys Anthropol* 157:58–70.
- Quinto-Sánchez M, Cintas C, Silva de Cerqueira CC, Ramallo V, Acuña-Alonso V, Adhikari K, Castillo L, Gomez-Valdés J, Everardo P, De Avila F, Hünemeier T, Jaramillo C, Arias W, Fuentes M, Gallo C, Poletti G, Schuler-Faccini L, Bortolini MC, Canizales-Quinteros S, Rothhammer F, Bedoya G, Rosique J, Ruiz-Linares A, Gonzalez-José R. 2017. Socioeconomic Status Is Not Related with Facial Fluctuating Asymmetry: Evidence from Latin-American Populations. *PLoS One* 12:e0169287.
- Quinto-Sánchez M, Muñoz-Muñoz F, Gomez-Valdés J, Cintas C, Navarro P, Cerqueira CCS de, Paschetta C, de Azevedo S, Ramallo V, Acuña-Alonso V, Adhikari K, Fuentes-Guajardo M, Hünemeier T, Everardo P, de Avila F, Jaramillo C, Arias W, Gallo C, Poletti G, Bedoya G, Bortolini MC, Canizales-Quinteros S, Rothhammer F, Rosique J, Ruiz-Linares A, Gonzalez-José R. 2018. Developmental pathways inferred from modularity, morphological integration and fluctuating asymmetry patterns in the human face. *Sci Rep* 8:963.
- Quinto Sánchez ME, Cintas C, Ramallo V, Silva de Cerqueira CC, Gomez-Valdés J, Acuña-Alonso V, Adhikari K, Everardo P, De Avila F, Jaramillo C, Arias W, Fuentes M, Hünemeier T, Gallo C, Poletti G, Rosique J, Schuler-Faccini L, Bortolini MC, Canizales-Quinteros S, Rothhammer F, Bedoya G, Ruiz-Linares A, Gonzalez-José R. 2017. Relación entre tratamiento hormonal, cirugía-ortodoncia maxilofacial, traumatismos y malformaciones craneofaciales y la asimetría fluctuante. *Rev Argentina Antropol Biológica* 20:6.
- Richtsmeier JT, Aldridge K, Deleon VB, Panchal J, Kane AA, Marsh JL, Yan P, Cole III TM. 2006. Phenotypic integration of neurocranium and brain. *J Exp Zool Mol Dev Evol* 306:360–378.
- Richtsmeier JT, Deleon VB, Lele S. 2002. The promise of geometric morphometrics. *Yearb Phys Anthr* 45:63–91.
- Ritz-Timme S, Gabriel P, Obertová Z, Boguslawski M, Mayer F, Drabik A, Poppa P, De Angelis D, Ciaffi R, Zanotti B, Gibelli D, Cattaneo C. 2011a. A new atlas for the evaluation of facial features: Advantages, limits, and applicability. *Int J Legal Med* 125:301–306.
- Ritz-Timme S, Gabriel P, Tutkuvieni J, Poppa P, Obertová Z, Gibelli D, De Angelis D, Ratnayake M, Rizigeliene R, Barkus A, Cattaneo C. 2011b. Metric and morphological assessment of facial features: a study on three European populations. *Forensic Sci Int* 207:239.e1-8.
- Roelofse MM, Steyn M, Becker PJ. 2008. Photo identification: Facial metrical and morphological features in South African males. *Forensic Sci Int* 177:168–175.
- Rogers TL, Allard TT. 2004. Expert Testimony and Positive Identification of Human Remains Through Cranial Suture Patterns. *J Forensic Sci* 49:1–5.
- Rohlf FJ. 1993. Relative warp analysis and an example of its application to mosquito wings. In: Marcus LF, Bello E,



- García-Valdecasas A, editors. Contributions to morphometrics. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. p 131–159.
- Rohlf FJ, Slice D. 1990. Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks. *Syst Zool* 39:40.
- Rosas A, Bastir M. 2002. Thin plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *Am J Phys Anthropol* 117:236–45.
- Ruiz-Linares A, Adhikari, Kaustubh Acuña-Alonzo V, Quinto-Sánchez, Mirsha Jaramillo C, Arias W, Fuentes M, Pizarro M, Everardo P, de Avila E, Gómez-Valdés J, León-Mimila P, Hunemeier T, Ramallo V, Silva de Cerqueira CC, Burley M-W, Konka E, Zagonel de Oliveira M, Veronez MR, Rubio-Codina M, Attanasio O, Gibbon S, Gallo C, Poletti G, Rosique J, Schuler-Faccini L, Salzano FM, Bortolini M-C, Canzales-Quinteros S, Rothhammer F, Bedoya G, Balding D, Gonzalez-José R. 2014. Admixture in Latin America: geographic structure, phenotypic diversity and self-perception of ancestry based on 7,342 individuals. *PLoS Genet* 10:e1004572.
- Sackett DL, Rosenberg WMC, Gray JAM, Haynes RB, Richardson WS. 1996. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ* 312.
- Schuster P. 2002. A testable genotype-phenotype map: modeling evolution of RNA molecules. In: *Biological Evolution and Statistical Physics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. p 55–81.
- Serrano C, Villanueva M, Luy J, Link K. 2000. Sistema computarizado de identificación personal con rasgos morfológicos faciales. *Antropol Física Latinoam* 2:119–134.
- Sforza C, Dolci C, Tommasi DG, Pisoni L, De Menezes M, Elamin F. 2014. Three-dimensional facial distances of Northern Sudanese persons from childhood to young adulthood. *J Cranio-Maxillofacial Surg* 42:e318–e326.
- Slice DE. 2005. *Modern morphometrics in physical anthropology*. (Slice DE, editor.). Springer.
- Small C. 1996. *The statistical theory of shape*. New York: Springer-Verlag.
- Sokal R, Michener C. 1958. A statistical method for evaluating systematic relationships. *Univ Kansas Sci Bull* 38:1409–1438.
- Sokal RR, Rohlf FJ. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Srinivas N, Aggarwal G, Flynn PJ, Vorder Bruegge RW. 2012. Analysis of Facial Marks to Distinguish Between Identical Twins. *IEEE Trans Inf Forensics Secur* 7:1536–1550.
- Taylor B, Kuyatt C. 2009. Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. NIST Technical Note 1297-DIANE Publishing.
- Toma AM, Zhurov AI, Playle R, Marshall D, Rosin PL, Richmond S. 2012. The assessment of facial variation in 4747 British school children. *Eur J Orthod* 34:655–664.
- Tome P, Vera-Rodriguez R, Fierrez J, Ortega-García J. 2015. Facial soft biometric features for forensic face recognition. *Forensic Sci Int* 257:271–284.
- Valentine T, Davis J. 2015. *Forensic Facial Identification*. (Wiley, editor.). West Sussex, UK.
- Verma K, Nahar P, Singh MP, Mathur H, Bhuvaneshwari S. 2017. Use of Frontal Sinus and Nasal Septum Pattern as an Aid in Personal Identification and Determination of Gender: A Radiographic Study. *J Clin DIAGNOSTIC Res* 11:ZC71-ZC74.
- Verma P, Verma K, Khosa R, Kumar S, Basavaraju S, Patwardhan N. 2015. Combined use of frontal sinus and nasal septum patterns as an aid in forensics: A digital radiographic study. *N Am J Med Sci* 7:47.
- Villanueva M. 2003. Forma y fenotipo facial. *Estud Antropol Biológica* 11:599–616.
- Villanueva M. 2007. Estudio de un nuevo polígono facial en fotografías laterales. *Estud Antropol Biológica* 11:1195–1202.
- Vioarsdottir US, O'Higgins P, Stringer C, Viarsdóttir US, Higgins PO. 2002. A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton. *J Anat* 201:211–229.

- Walker PL. 2008. Sexing skulls using discriminant function analysis of visually assessed traits. *Am J Phys Anthropol* 136:39–50.
- White TD, Folkens PA. 2005. *The Human Bone Manual*. Burlington, MA: Academic Press.
- Wiley DF, Amenta N, Alcantara DA, Ghosh D, Kil YJ, Delson E, Harcourt-Smith W, Rohlf FJ, St. John K, Hamann B. 2005. Evolutionary Morphing. In: *VIS IEEE Visualization*. IEEE. p 431–438.
- Wilkinson C, Rynn C. 2012. *Craniofacial Identification*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Yezerinac SM, Loughheed SC, Handford P. 1992. Measurement Error and Morphometric Studies: Statistical Power and Observer Experience. *Syst Biol* 41:471–482.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. 2004. *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. San Diego: Elsevier Academic Press.

# 24

## La Percepción Remota en Investigaciones Forenses

**José Luis Silván Cárdenas<sup>1</sup>**

**León Felipe Dozal García<sup>1</sup>**

**José Manuel Madrigal Gómez<sup>1</sup>**

**Palabras clave:** percepción remota, fotografía aérea, imágenes satelitales, LiDAR, VANTS, termografía diferencial.

### RESUMEN

Presentamos una revisión de las técnicas de percepción remota o teledetección, sus principios y aplicaciones en estudios e investigaciones forenses. El volumen de trabajos publicados sobre el tema sugiere que las técnicas de percepción remota se han utilizado hasta ahora principalmente para la evaluación ambiental de la actividad industrial, pero también ha jugado un papel clave en el descubrimiento de sitios arqueológicos de antiguos asentamientos en todo el mundo. No obstante, estudios recientes permiten prever que el uso de dispositivos de teledetección a bordo de vehículos aéreos no tripulados permitiría nuevas aplicaciones en otras ramas de las ciencias forenses.

### ABSTRACT

We present a review of remote sensing techniques, its principles and applications in forensic studies and investigations. The volume of published works on the topic suggests that remote sensing techniques have been so far mainly used for environmental assessment from industrial activity, but it also has played a key role in the discovery of archeological sites of ancient settlements around the world. Nevertheless, recent studies allow to foresee that the use of remote sensing devices on board of unmanned aerial vehicles would allow novel applications on other branches of forensic sciences.

## INTRODUCCIÓN

Las técnicas geospaciales aplicadas a las ciencias forenses tienen una larga tradición en la rama ambiental, esto debido a que muchas de las actividades humanas tienen efectos duraderos en el medio ambiente de tal suerte que la detección de dichos efectos se puede realizar mediante instrumentos a bordo de plataformas terrestres, aéreas y marinas (Lein, 2012). Así mismo, el uso temprano de la fotografía aérea en el registro de sitios arqueológicos permitió la sistematización de métodos de búsquedas y registro que poco a poco han sido exportados hacia otras áreas de las ciencias forenses (Parrington, 1983).

En este capítulo se presenta una revisión de las técnicas de percepción remota y su aplicación en investigaciones forenses. Existen varias revisiones recientes que enfatizan el empleo de técnicas geospaciales, incluyendo la percepción remota y las técnicas geofísicas terrestres, en las ciencias forenses. Entre las primeras revisiones del tema se tiene la realizada por Brilis (2000) y sus colaboradores en un par de artículos sobre métodos tradicionales (Brilis, Gerlach y Waasbergen, 2000) y digitales (Brilis, Van Waasbergen, Stokely y Gerlach, 2001). En la primera parte discuten los métodos basados en la fotografía aérea, el mapeo topográfico y las imágenes satelitales, mientras que en la segunda parte discuten la integración de la información geoespacial en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis ambiental y la aplicación de las leyes. En la misma línea, Grip, Grip, y Morrison (2000) enfatizan el valor de la fotografía aérea histórica que se encuentra en archivos históricos de instituciones públicas y describe el proceso de digitalización y su integración en los SIGs. Una revisión obligada de las técnicas marinas, terrestres y aéreas es proporcionada por Davenport (2001), quien discute el potencial, limitaciones y modos de operación de las técnicas existentes a la fecha. Los métodos terrestres para búsquedas de objetos enterrados, incluyendo el radar de penetración terrestre (o GPR por sus siglas en inglés), magnetometría y resistividad/conductividad son revisados por Pringle y sus colaboradores (Pringle et al., 2012). Una revisión extensa del rol de las tecnologías geospaciales en las investigaciones criminales es proporcionada en el libro *Forensic GIS: the role of geospatial technologies for investigating crime and providing evidence* (Elmes, Roedel y Conley, 2014). En el

libro *Remote Sensing Technology in Forensic Investigations* Davenport (2017) describe técnicas geofísicas terrestres tales como detectores de metales, magnetómetros, GPR; así como, fotografía en el infrarrojo térmico para la búsqueda de cuerpos y objetos enterrados.

A diferencia de las revisiones previas, aquí se presentan únicamente las técnicas que obedecen a la definición tradicional de percepción remota entendida como: el arte y ciencia de obtener información de un objeto a la distancia. Los sistemas de percepción remota típicamente se componen de una fuente de energía (generalmente energía electromagnética, aunque puede incluir otros tipos de señales), un sensor capaz de registrar la energía y la superficie u objeto observado. En ese sentido, las técnicas de percepción remota no requieren, en principio, el despliegue de personas o instrumentos sobre la superficie a observar; sin embargo, ésta debe estar en la línea de vista del sensor.

## FOTOGRAFÍA AÉREA

La fotografía aérea es aquella imagen de la superficie de la tierra, incluyendo suelo, océanos y atmósfera, que se adquiere mediante una cámara fotográfica desde una aeronave, por ejemplo, avión, helicóptero, dron, etc. En los años de 1970 se utilizaba fotografía aérea y sistemas de escaneo térmico o visible. Los sensores que se utilizaban eran escáneres mecánicos, también conocidos como cámaras facsimil. Estos dispositivos consisten básicamente en un radiómetro y un mecanismo de escaneo. La lente del radiómetro captura la radiación y la transmite a un detector el cual la transforma a una señal eléctrica. El mecanismo genera líneas de escaneo, ya sea por medio de un espejo de cabeceo o un prisma giratorio. La reconstrucción de la señal del mecanismo de escaneo produce una imagen de la superficie (Huck y Lambiotte, 1969). También se utilizaron las cámaras de video como sensores aéreos cuando estas se comenzaron a construir más ligeras y baratas. Después, en los 80 Goetz y sus colaboradores (1985) del Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA comenzaron una revolución en percepción remota al desarrollar nuevos instrumentos como el espectrómetro de imágenes aéreas (Airborne Imaging Spectrometer, AIS), en ese entonces llamado AVIRIS (Airborne Visible Infra-Red Imaging Spectrometer); a este tipo de imágenes se les conoce como imágenes espectroscópicas.

Actualmente se utiliza un arreglo lineal dispositivos de carga acoplada o CCD por sus siglas en inglés (*charge-coupled device*) como detectores. El sensor que utiliza este dispositivo es conocido como escáner de barrido e hizo posible la adquisición de cientos de bandas espectrales simultáneamente en cada elemento de la imagen (píxel), a través de la región del espectro visible e infra-rojo, de 0.4 a 2.5  $\mu\text{m}$ . Los bloques de construcción básicos para los escáneres de barrido son líneas que producen imágenes continuas del terreno. La cobertura del suelo de estos escáneres depende de la longitud del arreglo lineal de CCDs del escáner. Actualmente, los escáneres de barrido utilizan arreglos lineales que contienen entre 4000 y 14000 CCDs, invariablemente estos escáneres utilizan detectores CCD (Petrie y Walker, 2007).

Los arreglos lineales de detectores tienen las siguientes ventajas cuando se aplican a la adquisición de imágenes multispectrales (con 3 a 10 bandas) en comparación con las técnicas clásicas de escaneo mecánico (Wadsworth, Looyen, Reuter y Petit, 1992):

1. Un decremento substancial en el tiempo de integración de la imagen, por lo que la resolución espacial puede incrementarse
2. Mejor calidad de imagen en términos de la geometría
3. Ausencia de partes móviles mecánicas

Una de las desventajas de este tipo de sensores es que la mayoría de los detectores CCD comerciales tienen un rango de longitud de onda limitado entre 0.4 y 1.1  $\mu\text{m}$ . Además, si se necesita más de una longitud de onda entonces es necesario más de un arreglo lineal, lo que rápidamente ocasiona un problema de congestión en el plano focal del sensor (Wadsworth, Looyen, Reuter y Petit, 1992).

Los circuitos integrados bidimensionales, llamados arreglos de área, fueron desarrollados para superar este problema, ya que estos dispositivos son capaces de registrar datos en varias longitudes de onda a la vez, escaneando una línea de la imagen transversalmente y la longitud de onda longitudinalmente. Para obtener información más detallada sobre los sensores digitales de fotografía aérea recomendamos leer a Petrie y Walker (2007).

## Fotointerpretación

La fotointerpretación es el proceso de extracción de información a partir de la fotografía aérea. Define los elementos básicos de interpretación de la fotografía aérea, tales como color/tono, textura, tamaño, forma, sombras, altura y patrones. En la búsqueda de estructuras enterradas, se suelen analizar patrones de marcas en cultivos, en suelo, en relieve y en nieve (Parrington, 1983). Las marcas de cultivos se crean por el crecimiento diferencial de la vegetación sobre una estructura enterrada; pueden dar como resultado un crecimiento más exuberante sobre una zanja enterrada que tiene más nutrientes o retiene más humedad que el subsuelo circundante, o puede provocar retraso en el crecimiento sobre una pared enterrada. Las marcas de suelo aparecen sobre campos recién arados cuando sobresale el relleno diferencial de rasgos arqueológicos comparado con el suelo del arado circundante. Las marcas de relieve son evidentes temprano en el día o por la tarde cuando el sol está bajo en el horizonte y los pequeños cambios en el relieve son exagerados por las sombras proyectadas, formando patrones lineales que sólo pueden ser apreciadas desde el aire. Este efecto también puede aparecer en las marcas de cultivos que se fotografían temprano en la mañana o al anochecer por la diferencia de altura en la vegetación. Las marcas de nieve aparecen cuando una ligera caída de nieve se ha derretido en forma diferencial debido a las variaciones en profundidad y composición de suelo. Por lo general, éstos rasgos observables son extremadamente efímeros, por lo que los investigadores deben conocer el comportamiento temporal de los fenómenos para poder interpretar apropiadamente las fotografías. Es así como las fotografías aéreas se han utilizado para detectar cambios anormales de la vegetación que se sabe ocurren sobre los entierros de cadáveres (France, et al., 1992).

Mientras gran parte de la interpretación de la fotografía recae en la resolución espacial y patrones espaciales que se forman, en muchas ocasiones la información espectral, esto es el color o longitudes de onda, puede resultar determinante. Por ejemplo, las fotografías ultravioletas se han utilizado para mapear la madurez de la vegetación, ya que las tumbas presentan vegetación más joven que otras áreas debido a un cambio en el pH del suelo (Pringle, et al., 2012). Así mismo, la fotografía color-infra rojo permite conocer el vigor y densidad de la vegetación.

El uso de la fotografía en las ciencias forenses no es nuevo, aunque sí sesgado hacia investigaciones forenses ambientales (Grip, Grip, et al., Morrison, 2000; Brilis, Gerlach y Waasbergen, 2000) y arqueología forense (Parrington, 1983) pero ha sido gracias a la destreza de foto intérpretes experimentados, que la fotografía aérea ha servido para determinar causas de mortalidad de la vegetación, daños por derrames de petróleo, calidad ecológica de cuerpos de agua, entre otros. Uno de los casos más sobresalientes donde la fotografía aérea histórica fue empleada exitosamente es el de la gran hambruna de Irlanda, y resulta un buen ejemplo de cómo las técnicas de percepción geofísica y remota pueden complementarse entre sí.

### La papa irlandesa

Entre 1845 y 1851 ocurrió una gran hambruna en Irlanda, evento desastroso conocido como *The Irish Potato* (Donnelly, 2002). La hambruna causó la muerte de más de un millón de personas y la emigración de unos dos millones. Comenzó como una catástrofe natural por la destrucción de cosechas sucesivas causadas por un hongo, pero sus efectos se vieron agravados por el gobierno británico en el poder, ocasionando el fallecimiento de más de un octavo de la población del país. La alta tasa de mortalidad resultó en entierros masivos cuya ubicación permaneció sin marcarse y con el paso del tiempo fueron olvidados; pero la recién expansión urbana, a través de las excavaciones para la construcción, permitió el hallazgo de algunos de estos entierros y detonó una búsqueda sistemática. Tal fue el caso de la construcción de un hospital al noroeste de Irlanda en 2004, lo que causó el paro de los trabajos y la consecuente planeación de excavaciones arqueológicas en la zona. En ese punto se planteó la preocupación de que los registros históricos mostraran que esto era sólo el indicio de un sitio más grande, cuya ubicación era desconocida.

El plan de búsqueda incluyó el empleo de fotografía aérea histórica de los sobrevuelos de la Royal Air Force en la década de 1950 y el empleo de un GPR en sitios seleccionados a partir de la fotointerpretación. Las fotografías permitieron identificar rasgos lineales, ya sea superficiales o enterrados, vías de acceso y sitios de interés histórico a partir de lo cual se seleccionaron cuatro áreas más probables de entierros, mismas que fueron evaluadas *in situ* con el GPR a varias frecuencias, culminando con el hallazgo

de las tumbas de más de 150 años de antigüedad (Ruffell, McCabe, Donnelly y Sloan, 2009).

### IMÁGENES MULTI- E HIPERESPECTRALES

La diferencia principal entre las imágenes multi- e hiperespectrales es el número de bandas. A las imágenes con 3 a 11 bandas se les conoce como imágenes multispectrales y cada banda se obtiene utilizando un radiómetro. Un ejemplo de un sensor multispectral es el satélite Landsat-8 que produce imágenes con 11 bandas. Por otro lado, las imágenes hiperespectrales consisten en bandas más estrechas (10-20 nm) y pueden tener de cientos a miles de bandas y, en general, se obtienen utilizando un espectroradiómetro. AVIRIS es un ejemplo de sensor aéreo hiperespectral que genera imágenes con 224 bandas contiguas con longitudes de onda entre los 0.4 y 2.5  $\mu\text{m}$ .

Los métodos multispectrales para obtener información sobre los recursos de la Tierra utilizando sensores a bordo de satélites comienza a ser estudiado a mediados de los 60, poco después del lanzamiento del primer satélite para la observación de la tierra. El objetivo era reunir datos sobre los recursos de la Tierra, tales como los campos para agricultura y producción de comida, geología y la localización de yacimientos de petróleo y minerales, geografía y uso de suelo. Además, a través de estas plataformas se puede acceder a la información sobre la radiación electromagnética que rebota de la superficie de la Tierra, y en particular, de su variación espacial, temporal y espectral. En un inicio la investigación se enfocó en el análisis de las variaciones espectrales usando la distribución espectral de la energía en un píxel para su clasificación. La espectroscopia se ocupa de la medición, análisis, e interpretación del espectro adquirido de una escena determinada (u objeto específico) a una distancia corta, mediana o larga por medio de un sensor aéreo o satelital (Plaza et al., 2009). Entonces, mediante el uso de métodos de reconocimiento de patrones, se puede hacer un mapa temático de la región que muestra la cantidad y distribución de un conjunto de clases de cobertura (Landgrebe, 1999).

Los satélites multispectrales para percepción remota han proporcionado una cobertura global durante las pasadas cuatro décadas y la literatura sobre índices espectrales ha expandido nuestro entendimiento sobre las dinámicas tem-

porales en los ecosistemas. Los índices espectrales extraen información acerca de las condiciones de la superficie por medio de la amplificación de la señal lo cual permite mayor sensibilidad en la predicción de variables ecológicas y ambientales (Khanna, et al., 2007).

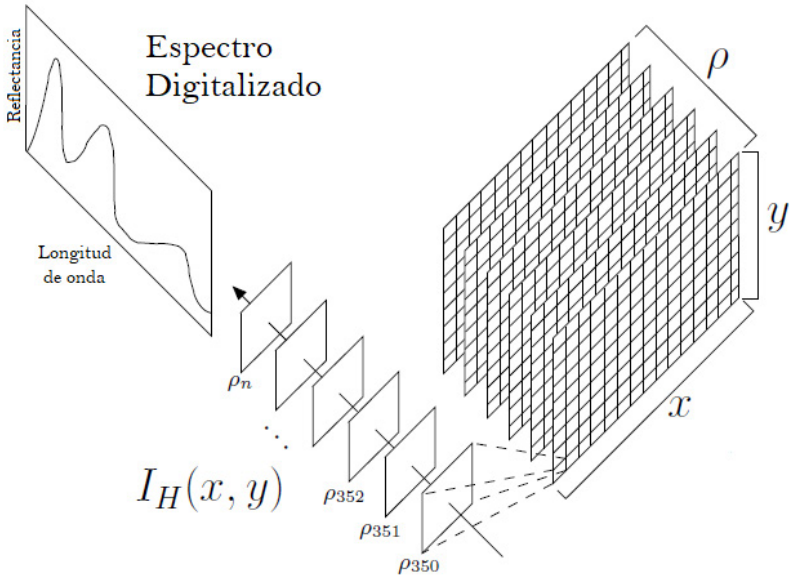
Aunque la adquisición de IHS es posible desde 1985 (Goetz, Vane, Solomon et al, Rock, 1985), es una técnica emergente en la percepción remota satelital. Primero, en el 2000, la NASA lanzó el satélite EO-1 con el espectrómetro de barrido Hyperion capaz de adquirir imágenes con 220 bandas en el rango espectral 400 - 2500nm, después la Agencia Espacial Europea lanzó el mini-satélite Proba-1 en 2001, con el espectrómetro CHRIS capaz de adquirir imágenes con 19 bandas en el rango espectral 400 - 1050 nm. No existen muchas plataformas espaciales con detectores hiperespectrales por esta razón la mayoría de las investigaciones con IHS utilizan detectores aéreos o manuales.

La espectroscopia de imagen es una técnica para la adquisición de imágenes en cientos de bandas espectrales contiguas a través de las

porciones visible e infra-roja del espectro (Goetz, Vane, Solomon y Rock, 1985). Se ha dicho que las IHS ofrecen potencial para la detección, visualización, identificación y estimación de la edad de rastros forenses *in situ* y en laboratorio. Una revisión de las técnicas forenses de análisis de rastros mediante imágenes hiperespectrales es proporcionada por Edelman, et al., (2012).

El valor de esta técnica es su habilidad para adquirir un espectro de la fracción de radiación electromagnética reflejada (reflectancia) por cada elemento de la imagen (píxel). Una IH puede ser vista como un cubo, las aristas X y Y especifican el tamaño de las imágenes, mientras la arista  $\rho$  denota las bandas de los datos hiperespectrales. Cada píxel en la IH está representado como un vector de valores correspondientes al amplio espectro de reflectancia. Este vector se expresa como  $HI(X, Y)$ , ver **figura 1**.

El espectro de reflectancia en la región de 0.4 a 2.5  $\mu\text{m}$  está relacionado al material de los objetos en la escena que ha sido capturada, por esta razón puede ser utilizado para identificar un amplio rango de materiales en la superficie



**Figura 1.** Imagen hiperespectral.

Fuente: Elaboración propia

que no pueden ser identificados con imágenes multispectrales (Goetz, Vane, Solomon y Rock, 1985). En general, una resolución espectral más fina conduciría a una mejor habilidad para discriminar dichos materiales, pero eso no significa que siempre se necesiten más datos. Por un lado, un gran volumen de datos implica una alta redundancia y una gran complejidad de análisis y computación para su clasificación (Li, et al., 2014). Debido al gran número de dimensiones de las IHs, la tecnología tradicional de reconocimiento de patrones y visión por computadora no puede ser directamente aplicada a las IHs (Liang, Zhou, Bai y Qian, 2013). Aunque ya existen muchas técnicas en el procesamiento de imágenes multispectrales, algunas de ellas pueden no ser efectivas cuando se aplican directamente a IHs (Chang, 2003).

### Estado de la investigación

Existen varios estudios que muestran el potencial y limitaciones de las imágenes multi- e hiperspectrales para la detección de cuerpos enterrados. Kalacska y Bell (2006) fueron de los primeros en utilizar herramientas de percepción remota para localizar fosas masivas cuya localización era desconocida. Más tarde, Kalacska, et al., (2009) analizaron la reflectancia espectral, adquirida con métodos *in situ* y una plataforma aérea, de un conjunto de fosas masivas con cadáveres de ganado y fosas falsas vacías o de control. Sus resultados indicaron que es fácil distinguir entre la reflectancia de las fosas y la de las fosas de control en ambas escalas. Además, observaron que la regeneración de la vegetación fue severamente inhibida por los cadáveres de ganado por un periodo de hasta 16 meses. Caccianiaga, et al., (2012) estudiaron los efectos que la descomposición de cadáveres de cerdos enterrados tiene sobre la estructura y composición de la vegetación como una herramienta para detectar las fosas clandestinas. Ellos encontraron que la perturbación del suelo fue el principal factor que afectó la cubierta de plantas, mientras que el rol de la descomposición al parecer es mucho menos crítico. Leblanc, et al., (2014) realizaron una prueba a ciegas para determinar el potencial de la tecnología aérea para adquisición de IHs en la localización de cadáveres de cerdos enterrados. Ellos fueron capaces de predecir la localización de dos fosas, dentro de un rango de error de 10m, cuya localización no conocían. Recientemente, Silván-Cárdenas, et al., (2017) estudiaron

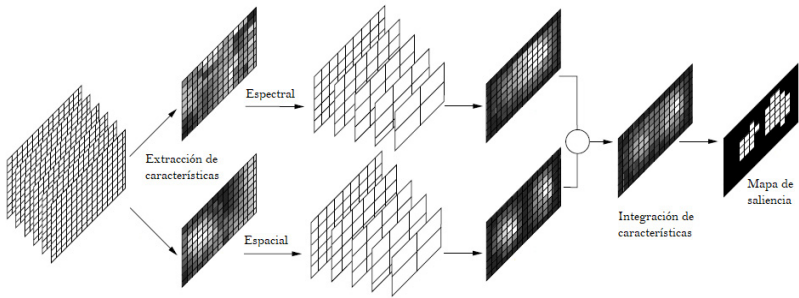
algunos métodos para detectar fosas clandestinas utilizando datos hiperspectrales adquiridos *in situ*. A través de un experimento controlado utilizaron cadáveres de cerdos enterrados y demostraron que los datos hiperspectrales tienen el potencial para detectar restos solo después de tres meses del entierro. Además, que las regiones espectrales críticas para la detección de fosas son el infrarrojo cercano (701-1000 nm) y el infrarrojo de onda corta (1001-1800 nm), algunas de las cuales son tan estrechas (10 nm) que hacen necesaria el uso de sensores hiperspectrales.

### Programación Cerebral: Detección de fosas por aprendizaje

Los datos hiperspectrales son complejos, lo que significa que su análisis requiere el uso de técnicas sofisticadas y automatizadas. Un estudio reciente exploró la aplicación de técnicas poco convencionales para el análisis de datos hiperspectrales (Dozal, Silván-Cárdenas, Moctezuma, Sordía y Naredo, 2018). En él se empleó la llamada Programación Cerebral (BP), propuesta por Dozal, et al., (2014), que es una técnica de computación evolutiva basada en Programación Genética (Koza, 1992), que a su vez es una técnica para resolver problemas de optimización basada en la teoría de la evolución de Darwin y el principio de selección natural. La BP se utiliza para automatizar el diseño de modelos de atención visual hiperspectral (H-VAM), los cuales son propuestos como un método para la detección de restos enterrados (Dozal, Silván-Cárdenas, Moctezuma, Sordía y Naredo, 2018). Los H-VAM utilizan operadores para extraer características espectrales y espaciales de las IHs. Después, otro operador de integración de características las fusiona en un solo mapa que resalta la posición de las fosas, llamado mapa de saliencia, ver **figura 2**.

En febrero de 2016, se crearon cuatro fosas de animales y tres fosas de control en un terreno cerca de Yautepec, Morelos. El terreno fue dividido en una cuadrícula de 19 por 19 cuadros para asegurar que todas las mediciones periódicas fueran hechas en la misma posición, ver la **figura 3**. Diez cadáveres de cerdos de granja fueron distribuidos entre las cuatro fosas. Cada fosa medía 2 x 2 m de ancho por 1.1 - 1.5 m de profundidad. Los cadáveres fueron distribuidos como se muestra en la **tabla 1**. Además de estas cuatro fosas, se excavaron tres fosas vacías con las mismas dimensiones para simular perturba-





**Figura 2.** Diagrama del modelo hiperespectral de atención visual (H-VAM)

Fuente: Elaboración propia

ciones en el suelo causadas por procesos ajenos a un entierro, como el uso de un arado o una construcción. Después del entierro, a partir del 12 de febrero hasta el 29 de julio, cada 15 días aproximadamente, se midió la reflectancia del suelo (fracción de luz reflejada) en 2151 longitudes de onda espectrales utilizando un espectroradiómetro de campo (Field Spec 4 Std Res de ASD Inc. @ 350 – 2500 nm) en cada uno de los vértices indicados. Como resultado, se formaron doce IHs que fueron analizadas mediante BP. Para obtener mayor información sobre la creación de las fosas, la adquisición de datos hiperespectrales y el pre-procesamiento de los datos el lector deberá referirse a las fuentes originales (Silván-Cárdenas, et al., 2017; Dozal, Silván-Cárdenas, Mocetzuma, Sordia y Naredo, 2018).

El algoritmo de BP es el encargado de encontrar los operadores para extracción de características espectrales y espaciales, y el de integración; de manera que la discriminación de los píxeles de las IHs en fosa y no fosa hecha por el H-VAM sea la mejor posible. Se implementaron dos experimentos, con 40 corridas independientes cada uno, usando los coeficientes kappa y kappa ponderada como medidas de exactitud de clasificación para guiar al algoritmo de BP en la búsqueda del H-VAM con mejor desempeño. La mejor solución obtenida se muestra en la **tabla 2**. Donde NDSI es el índice espectral de diferencia normalizada,  $Inf$  es la función ínfimum,  $BTH_{Ln,5,45}$  es la función morfológica llamada *black top hat* con un elemento estructural de línea de tamaño 5 con inclinación de 45°,  $\epsilon_{Sqr,7}$  es la función morfológica de erosión con un elemento estructural cuadrado de 7 x 7 píxeles,  $CM_{espacial}$  y  $CM_{espectral}$  son las imágenes resul-

tantes de la aplicación de los operadores espacial y espectral respectivamente.

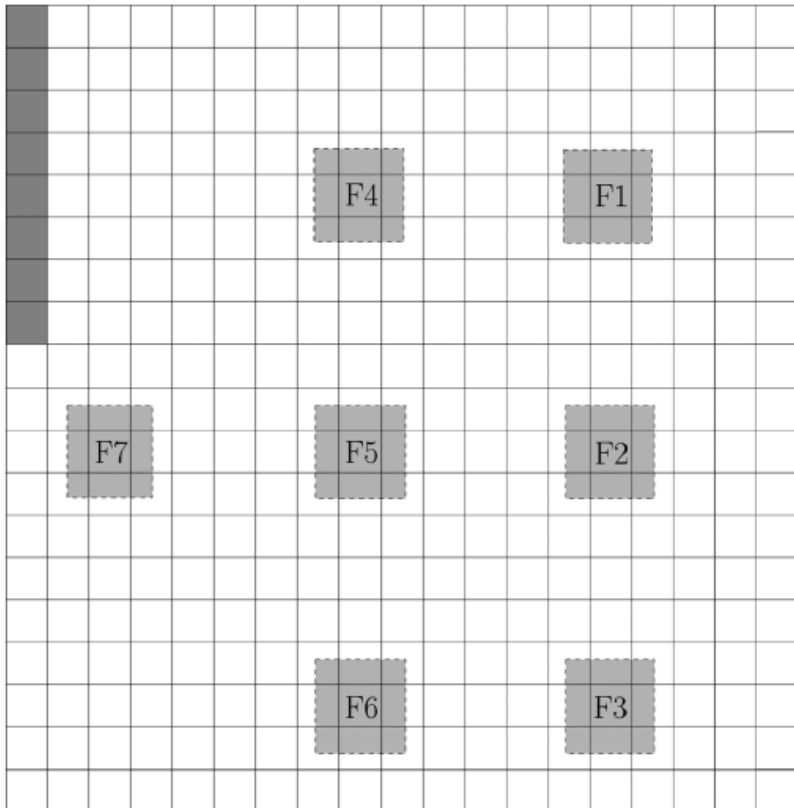
Los resultados experimentales demostraron que el método BP mejora la precisión de la clasificación sobre el enfoque de regresión lineal con mínimos cuadrados parciales reportado previamente (Silván-Cárdenas, et al., 2017). Así mismo, el estudio arrojó que la ventana de tiempo óptima para la detección de fosas en ambos experimentos fue durante los últimos 3 meses, ya que la precisión en las imágenes adquiridas durante ese periodo fue mayor.

Por otra parte, las bandas espectrales más útiles para la detección de fosas encontradas mediante el enfoque de aprendizaje BP, fueron las relacionadas con la respuesta espectral de: 1) la concentración de agua en las plantas a 969 nm (Danson, Steven, Malthus y Clark, 1992), 2)

**Tabla 1.** Distribución de los cadáveres en las fosas.

ID	Profundidad [m]	No. de Cadáveres	Peso [Kg]
F1	1.2	0	0
F2	1.2	3	255
F3	1.5	0	0
F4	1.0	2	170
F5	1.1	0	0
F6	1.2	1	85
F7	1.1	4	340

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.** Distribución espacial de las fosas

Fuente: Elaboración propia

el volumen de agua en las células de las hojas a 1546 nm (Tucker, 1980), 3) el contenido de celulosa o lignina a 2216 nm (Zandler, Brenning y Samimi, 2015), 4) la dolomita a 2368 nm (Herold, Schiefer, Hostert y Roberts, 2006), 5) la biomasa verde a 653 nm (Huete, et al., 2002), 6) la estructura interna y materia seca de la hoja a 796, 841 y 861 nm (Fensholt y Sandholt, 2003), 7) el contenido de agua de la planta a 2243 nm (Jin y Sader, 2005). Algunas de ellas han sido utilizadas para obtener información característica acerca de las especies de los árboles a 2216 y 2243 nm (Olson y Zhu, 1985); para discriminar las suculentas (*Halosarcia pergranulata*) del pasto mixto cultivado de centeno y trébol a 1271

nm (Dehaan y Taylor, 2002); y para caracterizar un amplio rango de especies de hojas a 796 nm (Peñuelas, Baret y Filella, 1995).

Hay una clara tendencia, a que el algoritmo use las bandas espectrales que responden a la vegetación y al contenido de agua de las plantas. Estos resultados soportan la teoría de que la descomposición de los cuerpos afecta la estructura de la vegetación y la composición del suelo, y que tales efectos pueden ser usados para detectar fosas clandestinas.

El mejor H-VAM obtenido por el BP detectó la fosa F7 completa en once de las doce IHS y detectó la fosa F2 completa en cinco y parcialmente en siete. Estas fosas tienen el ma-

**Tabla 2.** Mejor solución obtenida con Kappa ponderada

Operadores	Expresión óptima
Espectral:	$NDSI(\ln f((\rho_{B41} - \rho_{2243})^4 + 1.9\sqrt{\rho_{796}} - 1.95, (\rho_{B41} - \rho_{2243})^4), \rho_{653})$
Espacial:	$BTH_{Ln\_5\_45}(\varepsilon_{Sqr\_7}(\rho_{B61}))$
Integración:	$Ln\{4.13\left[\left CM_{espacial} + (17.06 CM_{espectral}^{1/3.91})^2\right  - (4.13( CM_{espacial} + CM_{espacial}^2  - CM_{espacial}^{1/3.91}))^{1/3.91}\right]\}(CM_{espacial} + 19.26)^{1/1.74}$

Fuente: Elaboración propia

por número de cuerpos enterrados, cuatro y tres respectivamente. La precisión de la clasificación decrece drásticamente en las fosas F6 y F4. Estos resultados indicaron que el número de cadáveres enterrados juega un rol importante para la detección. La figura 4 muestra la distribución espacial de los errores/aciertos de detección para cada imagen. Estas imágenes están ordenadas de acuerdo al día en que fueron adquiridas, empezando por la más vieja y terminando con la más reciente. El color del píxel verde indica las fosas correctamente clasificadas como fosas; los grises indican fosas que fueron incorrectamente marcadas como no-fosas; los rojos indican no-fosas incorrectamente clasificadas como fosas; los azules indican no-fosas correctamente clasificadas como no-fosas.

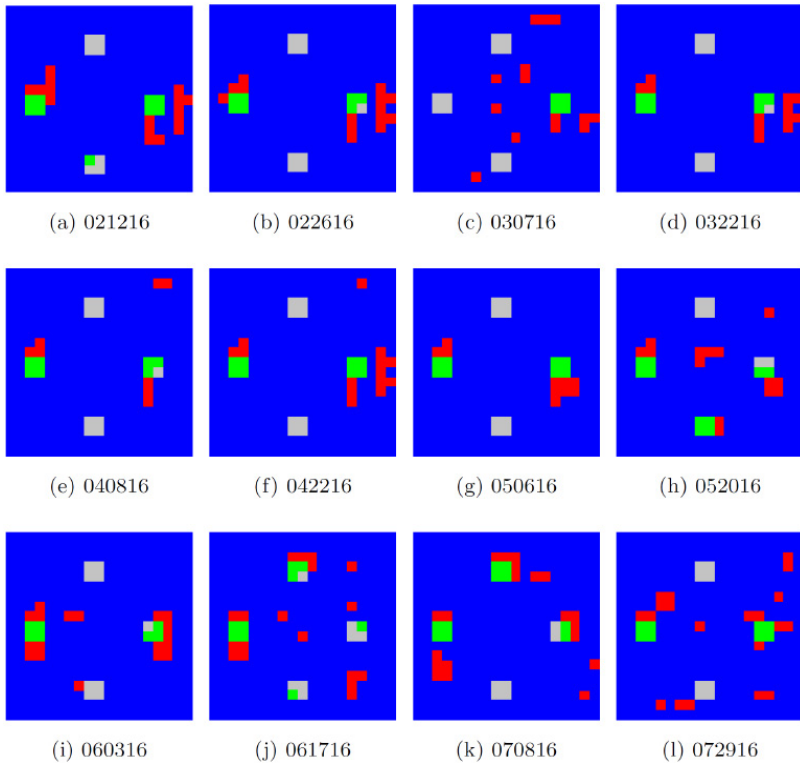
## IMÁGENES TÉRMICAS

A diferencia de la luz reflejada, la energía térmica es emitida por los cuerpos en función de su temperatura y emisividad. Dado que la energía térmica es una forma de radiación electromagnética ésta puede ser detectada remotamente y traducida en temperatura. Dicha conversión se basa en el modelo de cuerpo negro, que no es otra cosa que un objeto ideal que emite toda la energía absorbida en forma de ondas largas o radiación térmica. La radiación de cuerpo negro es un resultado fundamental de la teoría cuántica expresado en la Ley de Planck, de tal forma que si se conoce la temperatura del cuerpo se puede determinar cuánta energía emitirá en cada longitud de onda y viceversa (Lillesand, 2014). Para cuerpos reales, se define la emisividad como la fracción de radiación emitida a una temperatura con respecto a la radiación que emitiría un cuerpo negro a la misma temperatura, de tal forma que la emisividad de un cuerpo negro es 1 en cualquier longitud de onda. Muchos materiales

se comportan como un cuerpo negro en rangos de longitudes de onda y tienen promedios de emisividad cercanos a la unidad, como el agua clara (0.98-0.99), la piel humana (0.97-0.99) y el concreto asfáltico (0.94-0.97), entre otros.

Aunque la radiación térmica es emitida en un amplio rango de longitudes de onda, el rango espectral relevante desde el punto de vista de transferencia de calor va de 1 a 1000 micrómetros abarcando la región del infrarrojo. En la práctica, desde el punto de vista de la percepción remota sólo existen dos rangos espectrales donde es posible medir la radiación térmica sin obstrucción atmosférica, estas son de 3-5 y de 8-14 micrómetros de longitud de onda. En particular, el segundo rango es de mayor interés porque coincide con el pico de emisión de la radiación de cuerpo negro a la temperatura ambiente terrestre, aproximadamente 300 K. Las cámaras y escáneres térmicos usan detectores que son sensibles en dichos rangos espectrales, y con ayuda de lentes, espejos, revestimientos y convertidores traducen la energía en datos que son almacenados en dispositivos digitales en formato de imagen, la visualización de las cuales se denomina termografía.

La mayoría de las cámaras térmicas comerciales ofrecen resoluciones y sensibilidad a rangos de temperaturas entre los -15 y 250 grados Celsius sobre el fondo. Desde luego que mientras más pequeños sean los cambios de temperatura que se desea detectar, mayor deberá ser la sensibilidad del dispositivo y por lo tanto mayor es el costo de este. Los sistemas de imágenes térmicas, al igual que la fotografía visible e infrarroja, están disponibles para plataformas satelitales, aéreas y terrestres. El satélite Landsat 8 cuenta con dos sensores del infrarrojo térmico (TIRS) que registran la banda 10 (10.30-11.30 nm) y la banda 11 (11.50-12.50 nm) a 100 metros por píxel. Otro ejemplo es el radiómetro



**Figura 4.** Mapas de saliencia y clasificación del mejor H-VAM obtenido sobre las doce IHS

Fuente: *Elaboración propia*

avanzado espacial de emisión y reflexión térmica o ASTER por sus siglas en inglés, el cual incluye hasta 5 bandas de la región térmica (8-12 nm). Dado que la distancia respecto a la superficie del suelo reduce no sólo la resolución espacial de las imágenes sino también la sensibilidad efectiva a los cambios de temperatura (resolución térmica), la mayoría de las imágenes satelitales térmicas se empelan en la detección y monitoreo de procesos de gran amplitud, como son los incendios forestales.

### Aplicaciones en Ciencias Forenses

En su modalidad terrestre, las cámaras térmicas son usadas principalmente para la estimación de la hora de deceso (Khallaf y Williams, 1991),

para determinar si un objeto fue recientemente manipulado por contacto directo (Van Iersel, Veerman y Van der Mark, 2009), para detectar traumatismos internos en el cuerpo (Ammer y Ring, 2005) y para la visualizar fluidos en superficies con los mismos tonos, tales como manchas de sangre (Edelman, Hoveling, Roos, van Leeuwen y Aalders, 2013). No obstante, también se han identificado dificultades relacionadas a la interpretación de escenas que involucran varias fuentes de radiación con distintos rangos de emisividad (Edelman, Hoveling, Roos, van Leeuwen y Aalders, 2013).

En su modalidad aerotransportada, dado que no dependen instantáneamente de la luz solar, las imágenes térmicas han sido empleadas para mejorar la visibilidad de objetos en am-

bientes oscuros a partir de la detección de la radiación infrarroja térmica emitida por éstos. Su aplicación abarca desde la inteligencia militar en la detección de objetivos, pasando por investigación policial en el monitoreo de actividades nocturnas en laboratorios clandestinos, hasta investigaciones ambientales que incluyen la detección de puntos de calor en incendios forestales y zonas urbanas. Su mayor potencial en investigaciones forenses está en el monitoreo de cambios en el tiempo a partir de la termografía diferencial que es una técnica de observación de los cambios de temperatura del suelo para determinar anomalías, tales como entierros clandestinos (Davenport, 2001).

Si bien el análisis térmico no es considerado un método efectivo para detectar directamente cuerpos enterrados, si ha resultado útil para detectar anomalías de calentamiento/enfriamiento del suelo o estrés en la vegetación que puede estar asociado a una fosa clandestina. Hay al menos dos razones por las que el suelo

suele calentarse o enfriarse con menor rapidez cuando hay cuerpos enterrados. El primero ocurre cuando se tiene un cuerpo que aún no se ha descompuesto totalmente y en el cual se tiene un contenido de agua significativamente mayor que el del suelo, de tal forma que es posible observar una inercia térmica (tendencia a conservar su temperatura) distinta donde se encuentra el cuerpo. El otro factor ocurre cuando tras la descomposición quedan espacios vacíos que actúan como aislante térmico de tal forma que dichas áreas se calientan más despacio con respecto al suelo circundante. La caracterización de los patrones de calentamiento o enfriamiento del suelo requiere desde la toma de dos o más imágenes térmicas hasta la grabación de video térmico. Esto se realiza típicamente en las primeras horas después de la puesta de sol o poco antes del amanecer (Davenport, 2001).



**Figura 5.** Distribución de fosas simuladas en el sitio de prueba de Milpa Alta. Los rectángulos de las fosas han sido exagerados para una mejor visualización.

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 3.** Características de las fosas simuladas en el campo de prueba Milpa Alta. Las dimensiones se indican como ancho × largo × profundidad

Fosa	Dimensiones [m]	Contenido
F1	1.5 × 2.5 × 0.85	Vacía para control
F2	2.5 × 1.2 × 1.2	Varillas y ropa para control
F3	1.20 × 2.50 × 0.9	2 cerdos
F4	2.40 × 1.10 × 1.40	Vacía para control
F5	2.70 × 1.70 × 1.40	1 cerdo con ropa
F6	2.40 × 150 × 1.0	1 cerdo con cal
F7	3.70 × 1.20 × 1.30	2 cerdos con cal

Fuente: Elaboración propia

### Detección de entierros clandestinos por termografía diferencial

En un estudio en progreso, se probó hasta dónde es posible detectar cuerpos de animales enterrados a partir de la termografía diferencial. El sitio de prueba fue creado en septiembre de 2017 en la delegación Milpa Alta de la Ciudad de México. En este sitio se distribuyeron 6 cerdos en 4 fosas como se indica en la [figura 5](#) y [tabla 3](#).

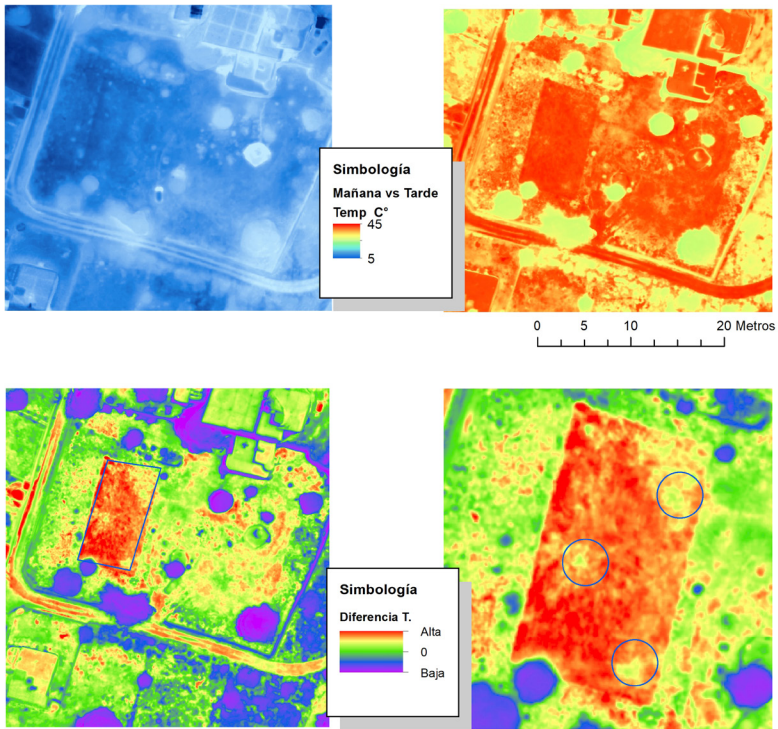
La recolección de información térmica se hizo a los 211 días desde el entierro con una cámara termográfica Xemus XT a bordo de un dron de ala rotatoria volando a 50 metros de altura sobre el terreno. Se tomaron 174 imágenes térmicas con un traslape frontal de 80% y lateral del 70% que permitieron la creación de mapas térmicos al amanecer y el mediodía ([figura 6](#), renglón superior), a partir de las cuales se calculó la diferencia ([figura 6](#), renglón inferior). Estos mapas muestran el incremento de temperatura que ocurrió entre la toma de la mañana y la del mediodía, es decir, en un lapso de alrededor de cinco horas.

Cabe señalar que un día antes de la toma de imágenes, se había cortado completamente la vegetación del área de interés, esto con el fin de descartar la influencia que ésta pudiera tener. La ausencia de vegetación en el área de interés se puede observar, tanto en la toma del mediodía como en la diferencia de temperatura, en tonos más cálidos que el área circundante donde no se cortó la vegetación. La termografía diferencial ([figura 6](#), renglón inferior) permite observar tres puntos con baja diferencia térmica (flechas azules), mismos que se ubicaron cerca de las fo-

sas F2, F3 y F7, aunque en el primer caso ligeramente más al sur. La fosa F3 y F7 contienen dos cerdos, mientras que la fosa F2 sólo contiene ropas y varillas, por lo que es posible que tanto el aire que queda atrapado tras la descomposición como la ropa enterrada hayan actuado como aislante térmico. En contraste, ni los sitios F5 y F6 donde se colocó un sólo un cuerpo, ni F1 y F4 donde no se colocaron cuerpos, fueron detectados con esta técnica. Para corroborar estas observaciones será necesario recabar más información, incluyendo la realización de misiones con diferente altura de vuelo.

### ESCÁNER LÁSER AEROTRANSPORTADO

El escáner láser aerotransportado, mejor conocido como LiDAR (Wehr y Lohr, 1999; Shan y Toth, 2018) es un sistema que emite un láser, ya sea pulsado o de onda continua, cuyo reflejo es detectado para determinar la distancia entre la superficie y el sensor vía el tiempo de vuelo (láser pulsado) o la diferencia de fase entre emisión y recepción (onda continua). Combinado con un sistema de posicionamiento global (GPS) y sistema de navegación inercial (INS), el sistema LiDAR determina la posición precisa donde chocó cada pulso generando así nubes de puntos densas de la superficie escaneada. El sistema puede operar desde una plataforma terrestre, aérea, o satelital. La determinación del modo de operación en una aplicación dada es el resultado de un compromiso entre área de escaneo y densidad de puntos requeridos. La densidad de puntos y, por consecuencia, el detalle de las superficies que se



**Figura 6.** Análisis por termografía diferencial. En orden lexicográfico se muestran: la termografía al amanecer, la termografía al mediodía, diferencia mediodía-amanecer y acercamiento de la diferencia sobre campo de prueba. Las flechas indican 3 puntos de anomalías detectadas (ver texto).

Fuente: *Elaboración propia*

reconstruyen a partir de ella depende principalmente de la distancia y frecuencia de escaneo, el modo terrestre resulta ideal para reconstruir con mucho detalle las superficies, con la limitante de que requiere un conocimiento más o menos preciso del área de investigación.

Cuando se tienen varios levantamientos de un mismo sitio para estudiar los cambios en el tiempo es importante asegurar un buen geo registro de las nubes de puntos a partir de una distribución y número de puntos de control consistentes, lo cual no siempre se puede garantizar debido a que los levantamientos no siempre se realizan bajo las mismas circunstancias y con el mismo personal. Afortunadamente, existen numerosos algoritmos para el co-registro de nubes de puntos en computadora (Tam, et al., 2013).

Los algoritmos de co-registro emplean una nube como referencia y alinean las otras nubes a ésta a partir de una transformación geométrica que es determinada por puntos comunes.

Otro procedimiento necesario para generar la superficie del terreno es el filtrado de los puntos que corresponde a objetos que no son parte del terreno, como son construcciones y arbolado. El proceso de filtrado puede ser automático; sin embargo, dado que no existe un algoritmo perfecto que funcione en todos los casos (Meng, Currit y Zhao, 2010), generalmente se requieren varias pruebas antes de generar un producto satisfactorio o, en última instancia, el resultado debe ser editado manualmente. A partir de los puntos de terreno seleccionados se genera, mediante interpolación, el denominado

modelo digital de terreno (MDT). Análogamente, la interpolación de los puntos sin filtrar corresponde al modelo digital de superficie (MDS), mientras que la diferencia de estos corresponde al modelo digital de alturas (MDA). El MDT y el MDA son los principales productos de análisis en las investigaciones forenses.

### Monitoreo topográfico

Los cambios de elevación de la superficie del terreno que son ocasionados por entierros se describen una y otra vez en forma anecdótica en la literatura sobre arqueología forense, primero como resultado del proceso de remoción y redistribución del suelo durante el entierro y posteriormente como resultado de la desintegración de la masa cadavérica. Se sabe que los entierros pueden provocar el hundimiento del terreno por la desintegración de los cuerpos y la compactación de la tierra; sin embargo, no siempre se observan dichos cambios. La detección de los cambios temporales en la elevación del terreno ocasionados por entierros es muy difícil porque éstos suelen ocurrir lentamente y pueden ser fácilmente enmascarados por otros factores, como la regeneración de la vegetación, la deposición de hojarasca, y las perturbaciones por animales, entre otros. No obstante, con el advenimiento de LIDAR existe un interés creciente en el monitoreo topográfico automatizado.

Los casos documentados en el uso de LIDAR para el estudio y descubrimientos de sitios arqueológicos son muchos y siguen en aumento (Bewley, Crutchley y Shell, 2005; Fisher y Leisz, 2013; Chase, et al., 2011; Evans, et al., 2013). En contraste, el monitoreo de los cambios de la superficie del suelo por entierros de cuerpos es apenas incipiente. Un primer estudio que emplea LiDAR terrestre para el monitoreo de la superficie de fosas simuladas con cuerpos donados fue publicado apenas el año pasado por un grupo de investigadores de la Universidad de Tenesse (Corcoran, Mundorff, White y Emch, 2018). En ese estudio se simularon tres fosas de tres tamaños, con 1, 3 y 6 cuerpos, y una fosa de control, sin cuerpos. El sitio fue escaneado con un escáner laser terrestre Riegl VZ-400 en 4 ocasiones en un período de 21 meses, una de las cuales correspondió a la fecha pre-entierro y tres a fechas post-entierro, esto es al inicio, a la mitad y al final del período. Las nubes de puntos fueron co-registradas y filtradas para generar MDTs a una resolución de 5 cm por pixel.

Los MDTs post-entierro fueron sustraídos del MDT pre-entierro y los cambios analizados. En todos los casos, incluyendo la fosa de control, se encontró que al inicio había una ganancia en elevación respecto a la superficie pre-entierro y posteriormente una pérdida de elevación hacia mitad del período. Sin embargo, la pérdida de elevación o subsidencia continuó hasta el final del período únicamente para las fosas con 3 y 6 cuerpos, por lo que los autores sugieren que la masa cadavérica y el tiempo son determinantes para poder observar el hundimiento por descomposición sin confusión.

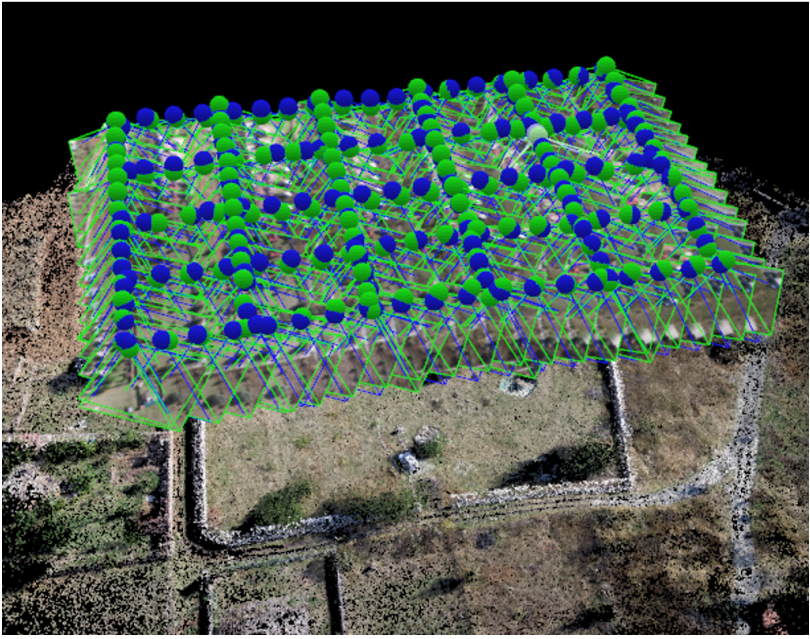
### FOTOGRAMETRÍA CON DRONES

Los drones son vehículos aéreos no tripulados (VANTs) que hoy en día son usados en aplicaciones de inspección, vigilancia, mapeo y modelado 3-D. Aunque su uso con fines civiles comienza a principio de los 80, la proliferación de aplicaciones se ha dado apenas en la última década, sobre todo debido a innovaciones tecnológicas que han permitido mejorar la autonomía y el control, así como abatir costos. Concurrentemente, el desarrollo de nuevos sensores para poner a bordo de estas plataformas ha permitido ampliar sustancialmente el abanico de posibilidades, incluyendo la detección de entierros clandestinos (Evers, 2018).

Los VANTs pueden ser de ala rotatoria o de ala fija, lo que influye en nivel de control, estabilidad, autonomía y por ende el tipo de proyecto en el que pueden ser usados. En aplicaciones de rango corto o cercano, esto es entre unos cuantos metros y alrededor de un kilómetro, los VANTs representan una alternativa de bajo costo a la fotografía aérea tradicional, ya que pueden capturar fotografías digitales con calidad amateur o fotogramétrica en forma automática o manual. Más aún, los desarrollos recientes de algoritmos de visión por computadora han facilitado la automatización de la orientación de la imagen, la rectificación de múltiples tomas y la generación de nubes de puntos densas que, en muchos casos, son comparables en precisión a las que genera un sistema LiDAR (Leberl, et al., 2010).

Para un levantamiento topográfico se realiza típicamente un proyecto de doble barrido del área de interés (figura 7). En la fotografía aérea tradicional para poder realizar la visión estereoscópica del área se consideran traslapes frontal (entre tomas consecutivas) y lateral (entre líneas





**Figura 7.** Ejemplo de un plan de vuelo indicando la posición de toma de la foto (izquierda) y visualización de la orientación de las fotos con la nube de puntos de amarre en color (derecha). La calibración de cámaras y generación de la nube de puntos se realizó empleando el programa de computadora Pix4D.

Fuente: Elaboración propia

de vuelo consecutivas) de 60-70% y 25-40%, respectivamente. A diferencia de la fotografía aérea tradicional, la fotogrametría con VANTS se emplea valores de traslape frontal y lateral de 80-90% con una inclinación de la cámara de entre 60-70 grados con respecto al plano horizontal, lo que garantiza que un mismo punto sea observado desde varios ángulos y con ello se mejora la calidad de la reconstrucción tridimensional.

La generación de nubes de puntos fotogramétricas se realiza a partir de la técnica conocida como *structure from motion* (estructura a partir del movimiento) que permite la generación de una representación tridimensional a partir de múltiples vistas bidimensionales (figura 7). El procedimiento es completamente automatizado a través de un algoritmo que encuentra puntos comunes o de amarre entre las fotos, optimiza los parámetros de un modelo de cámara y aplica

dichos modelos para reconstruir una nube densa de puntos tridimensionales.

El procesamiento de la nube de puntos para generar el MDT, MDS y MDA es esencialmente el mismo que en el caso de LiDAR. Sin embargo, las nubes fotogramétricas incluyen las componentes de color R-G-B que se extraen de las fotos, lo cual puede ayudar a mejorar el proceso de filtrado, permitiendo incluso una clasificación que no se limite a la identificación de puntos de terreno y no terreno. Más aún, al contar con un modelo de cámara preciso, es posible rectificar cada una de las fotos y generar un ortomosaico, esto es, una foto de escala uniforme donde pueden hacerse mediciones planimétricas precisas, tal como se hace en un mapa.

**Tabla 4.** Exactitud de puntos de control fotogramétricos

Escala de Vuelo	Exactitud (metros)
1:40,00 a 1:20,000	1.0
1:20,000 a 1:15,000	0.5
1:15,000 a 1:5,000	0.2
< 1:5,000	0.1

Fuente: INEGI (2012)

**Tabla 5.** Escalas de predios y vuelo

Escala de Vuelo	Superficie (hectáreas)
1:20,000 a 1:40,000	≥1.5
1:8,000 a 1:20,000	≥0.5
1: 4,000 a 1:8,000	≤0.5 Predios urbanos

Fuente: INEGI (2012)

**Tabla 6.** Relación, tamaño de pixel y superficie de predios a medir

Tamaño de pixel (metros)	Superficie (hectáreas)
≤0.20	Urbanos
<0.30	≤0.5
<0.50	>0.5
<1	>1.5

Fuente: INEGI (2012)

## Georreferenciación

Uno de los factores más importantes para la precisión espacial del levantamiento de fotografía aérea es la obtención de puntos de control con un equipo GPS de alta precisión y el post-procesamiento de los datos mediante una red de estaciones de referencia GPS de coordenadas conocidas que permiten mejorar la precisión de los ortomosaicos. Cabe señalar que en México existe la Norma Técnica para la Generación, Captación e Integración de Datos Catastrales y Registrales con Fines Estadísticos y Geográficos emitida por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2012), en la cual se recomien-

da enfocarse en varios factores que incluyen la exactitud, la escala y la precisión, según las necesidades del proyecto. En las **tablas 4-6** se resumen las recomendaciones para determinar las características del vuelo dados la exactitud requerida para el levantamiento de los puntos de control, el tamaño del predio a mapear y el tamaño de pixel del ortomosaico.

Tomando en cuenta las recomendaciones de la norma, la logística para una correcta georreferenciación es la siguiente. Primero, se colocan cuatro mojeneras o banderas, una en cada esquina del área a mapear, las cuales deben estar orientadas al norte y ser visibles desde muchos ángulos, como en el ejemplo de la **figura 8** (círculos rojos). Segundo, se mide la posición de cada bandera con el GPS sub-métrico de doble frecuencia (L1 y L2) empleando uno de los métodos de observación disponibles denominados estático, estático rápido, o cinemático en tiempo real (RTK). La elección del método influye en la rapidez del levantamiento y en la precisión final tras el post procesamiento. Para el ejemplo de la **figura 8** se utilizó el método de levantamiento estático con una permanencia de 30 a 40 minutos en cada uno de los puntos.

El tercer paso consiste en realizar un post procesamiento en un programa de computadora especial, generalmente proporcionado por el fabricante del equipo, como el Leica Geo Office. El programa emplea los cuatro puntos de control del levantamiento estático y tres estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA), la cual está formada por estaciones de monitoreo continuo de datos GPS que se encuentran distribuidas en todo el territorio nacional proporcionando datos de posicionamiento continuo que son recibidos del sistema de satélites de navegación global (GNSS) mediante la técnica de posicionamiento diferencial. Cabe señalar que la RGNA fue creada y es mantenida por el INEGI por lo que los datos que genera son abiertos (INEGI, Descripción de la Red Geodésica Nacional Activa, 2018). El post procesamiento permite mejorar sustancialmente la precisión en la posición de los puntos de control y por consecuencia la precisión de los productos basados en éstos. En el ejemplo de **figura 8**, una vez procesados se ingresaron al software Pix4D para obtener el reporte de calidad que arrojó una raíz del error cuadrático medio (RMSE) de 12.6 cm y una distancia de muestreo en suelo (GSD) de 2.6 cm. Ésta última indica el tamaño de terreno que representa cada pixel del ortomosaico, por lo que se cumple con

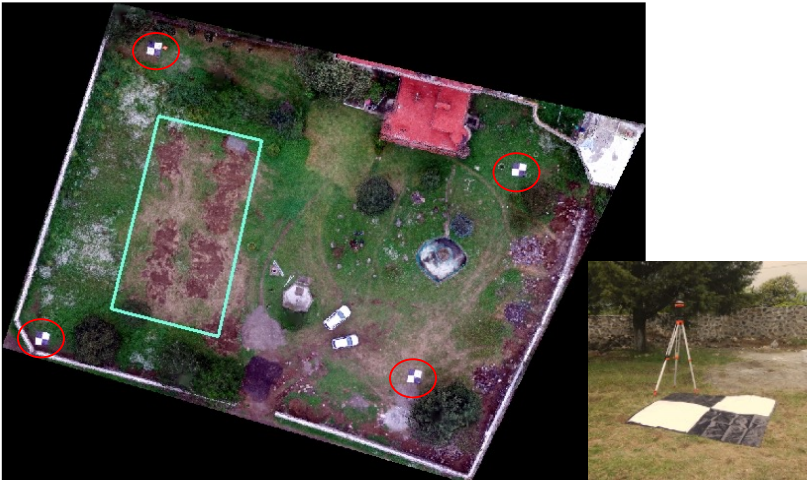
los niveles de precisión requeridos para realizar mediciones de un predio sobre las imágenes.

### Cambios temporales vs cambios espaciales

Desde el punto de vista operacional, la detección de los cambios temporales de la elevación del terreno requiere contar con una “superficie pre-entierro” que sirva de referencia para comparar la “superficie post-entierro”. A nivel experimental, es posible realizar un levantamiento pre-entierro y post-entierro con características similares. Esto se hizo, por ejemplo, en el campo de prueba de Milpa Alta. La visualización de los hundimientos para dos fechas se ilustra en la **figura 9**, donde los tonos cálidos indican ganancias de elevación y los tonos fríos indican pérdidas de elevación. Dado que el nivel de error en la vertical suele ser del orden de los 10 cm, los cambios dentro de este rango no deben ser tomados en cuenta. En el caso de la **figura 9** los valores de menos de 10 cm se hicieron transparentes y en su lugar se muestra la fotografía orto rectificada del suelo. La interpretación de los cambios relevantes sugiere que estos fueron debidos al crecimiento o poda de la vegetación, pero no a un hundimiento aparente.

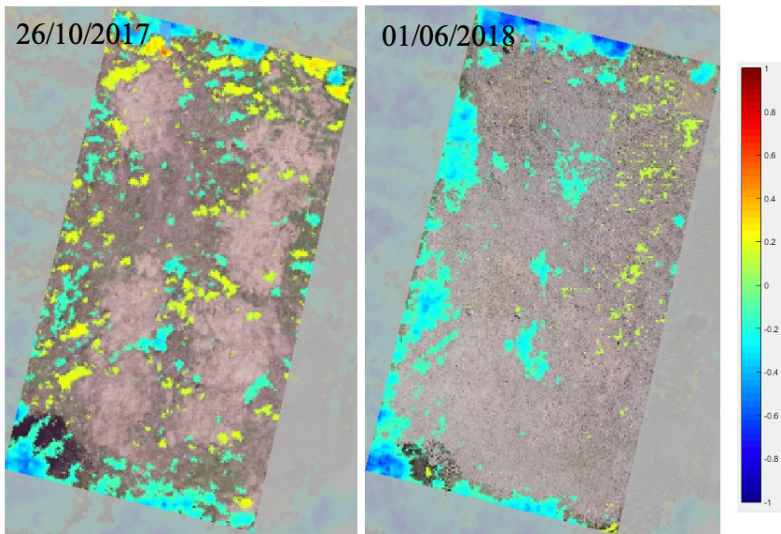
En la práctica, si bien la elevación del terreno se puede generar durante un proceso de búsqueda, la superficie de referencia es generalmente inexistente ya que por la naturaleza clandestina de los entierros no se puede saber *a priori* el área de interés, y aunque existen productos de la superficie terrestre a nivel global, nacional o regional, éstos presentan un nivel de detalle que resulta poco útil para habilitar las búsquedas por detección de cambios temporales en la elevación del terreno. Por lo tanto, en la mayoría de los casos un enfoque de cambios temporales no es operativo.

En algunos casos es posible detectar cambios espaciales que den indicios de hundimientos diferenciales. Esto se hace análogamente a la fotointerpretación de marcas de relieve en la fotografía aérea a partir de la interpretación de relieves sombreados de la superficie post-entierro con un ángulo de iluminación bajo. Un relieve sombreado es una técnica de visualización de la superficie del terreno con un modelo de iluminación y reflexión de la luz (Batson, Edwards y Eliason, 1975). En arqueología, esta técnica ha permitido el descubrimiento de estructuras ancestrales enterradas a partir de la superficie de terreno (Chase, et al., 2011; Fisher y Leisz, 2013).



**Figura 8.** Ejemplo de la distribución de los puntos de control (círculos) donde se muestra el área de interés (rectángulo). El recuadro inferior derecho muestra una foto del punto de la esquina suroeste del terreno donde se puede observar la antena GPS empleada.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 9.** Hundimiento relativo del terreno con respecto nivel del terreno al inicio del monitoreo a los 15 (izquierda) y 260 (derecha) días desde el entierro. En la escala de colores los tonos cálidos indican ganancias en elevación mientras que los tonos fríos indican pérdidas de elevación. Las unidades son en metros. Los valores de menos de 10cm son transparentes mostrando el ortomosaico R-G-B.

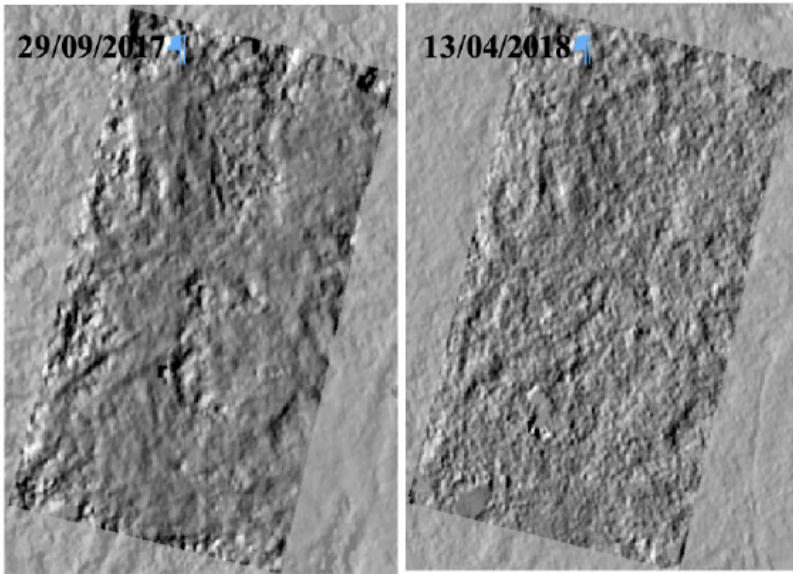
Fuente: Elaboración propia

La **figura 10** muestra el relieve sombreado del campo de prueba de Milpa Alta en dos fechas diferentes. Al igual que en el análisis de cambios temporales, las observaciones de los relieves no presentan indicios de hundimientos localizados con patrones atribuibles a entierros. Presumiblemente, esto es debido al relativamente corto tiempo entre el entierro y el monitoreo. No obstante, observaciones *in situ* permiten afirmar que sí ha habido un ligero hundimiento, pero este se encuentra dentro del rango de error del mapeo tridimensional de la técnica fotogramétrica y, por lo tanto, no es posible determinarlo con estos métodos, al menos hasta el momento de la escritura del presente capítulo.

### Altura de la vegetación

Otro indicio que permite saber sobre los entierros es la altura diferencial de la vegetación. La perturbación de las características bioquímicas del suelo por descomposición de un cadáver forma lo que se conoce como la isla de descom-

posición cadavérica (Carter y Tibbett, 2008). Aunque el efecto inmediato sobre la vegetación es la muerte o degradación de ésta por asfixia y lixiviado, el proceso de descomposición ocasiona un enriquecimiento repentino del suelo por nutrientes (como nitrógeno y fósforo), agua y carbón y, por consecuencia, la vegetación se regenera con mayor vigor y rapidez que en áreas circundantes. Parches de vegetación muy definidos ocurren sobre áreas de terreno que han sido removidos o enriquecidos mediante el proceso de descomposición de la materia orgánica (Caccianiaga, Bottacin y Cattaneo, 2012), aunque en fosas masivas de animales se ha observado que el crecimiento de la vegetación puede ser inhibido por un período prolongado (Kalacska, Bell y Sanchez-Azofeifa, 2009). La **figura 11** muestra la progresión de la vegetación del campo de prueba ubicado en Yauhtepec, Morelos tomadas desde la esquina suroeste (vea **figura 3**). Las flechas indican la ubicación aproximada de los sitios donde se hicieron los huecos. Se observó que los sitios donde se depositó la mayor cantidad de cuerpos



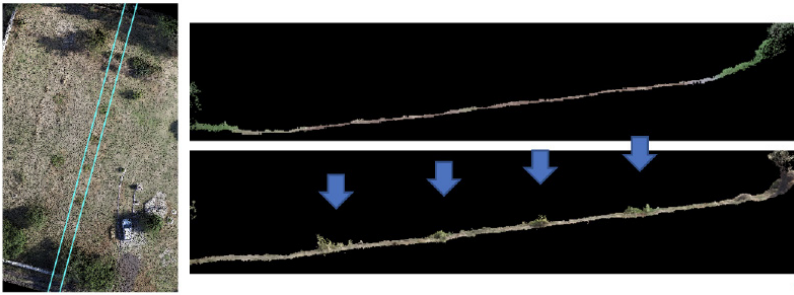
**Figura 10.** Ejemplo de relieves sombreados para el sitio de Milpa Alta a los 15 y 211 días desde el entierro. Se empleó filtrado para remover la vegetación y un ángulo de iluminación de 30 grados.

Fuente: *Elaboración propia*



**Figura 11.** Progresión de la vegetación en el campo de prueba de Yauatepec, Morelos. Las flechas indican la ubicación aproximada de los sitios excavados.

Fuente: *Elaboración propia*



**Figura 12.** Vista de planta de la nube de puntos con área de un perfil de análisis (izquierda). Vista de perfil sobre las fosas a los 15 días (derecha arriba) y a los 7 meses (derecha abajo) desde el entierro. Las flechas indican la ubicación aproximada de las fosas (Ver texto).

Fuente: Elaboración propia

fueron donde la vegetación reapareció más pronto, lo cual ocurrió hacia finales de abril, a casi tres meses desde el entierro (Silván-Cárdenas, et al., 2017).

El crecimiento diferenciado de la vegetación se puede detectar con la nube de puntos fotogramétrica, pero la detección de dichos parches no siempre implica la existencia de un cuerpo enterrado ya que otras perturbaciones también suelen ocasionar dichos parches (Caccianiaga, Bottacin y Cattaneo, 2012). La figura 6 muestra un ejemplo para el campo de prueba en Milpa Alta, donde se generó la nube de puntos fotogramétrica y se extrajo un perfil de sur a norte atravesando las fosas 2, 3, 5 y 7 (vea figura 5 y tabla 3). Cabe mencionar, que previo a los entierros el área presentaba una cubierta homogénea de pastos maduros de entre 30 y 60 cm de altura, pero el proceso de excavación mediante maquinaria removió prácticamente toda la vegetación existente. Tras el entierro, no se realizó ninguna otra perturbación más allá de la que ocasionó el caminar sobre el área para realizar mediciones en repetidas ocasiones, de tal forma que la vegetación se pudo regenerar durante un período de siete meses, al final del cual se realizó un nuevo levantamiento fotogramétrico. Las vistas de perfil de la figura 12 confirman que los sitios de las excavaciones fueron colonizados por comunidades de especies herbáceas que alcanzaron alturas de hasta 60 cm, mucho antes que las áreas circundantes. Dado que esto ocurrió tanto para las fosas con restos como para las fosas de control, se concluye que la altura de la vegetación por sí sola no es útil para determinar si hay o no restos

enterrados; en todo caso, puede ser útil para delimitar áreas de búsqueda.

## OTRAS TÉCNICAS DE GEOCIENCIAS

El sistema GPR se basa en el principio de la emisión de pulsos de ondas de radiofrecuencias, típicamente 10-1000 MHz, y la detección de los ecos (retro dispersión) de la señal con la finalidad de obtener imágenes del subsuelo. La señal electromagnética detectada permite generar la gráfica de retardo y amplitud, las cuales son una función del medio interactuante, en este caso el subsuelo. Pringle, et al., (2012) reportaron varios trabajos donde se ha empleado el GPR desde 1977 y 1991 en los cementerios para localizar fosas y esqueletos, permitiendo estimar profundidad y orientación de estos. Estudios recientes empleando el GPR incluyen la influencia del tamaño del cuerpo, la profundidad y la frecuencia de la señal de radar (Schultz, 2008; Schultz y Martin, 2011), así como las condiciones del clima y de los restos enterrados (Molina, Pringle, Saumett y Evans, 2016).

Actualmente existen sistemas VANTS equipados con GPR con potencial para la detección de fosas. La empresa SPH Engineering comercializa un VANT con GPR integrado. Comparado con un aeroplano o un helicóptero, el sistema tiene la ventaja de un fácil transporte, alta precisión y capacidad de volar a baja altura, lo cual es crucial dada la baja intensidad de la retro dispersión de la señal de radar. El GPR maneja frecuencias de 80 y 124 MHz volando a 80 y

40 metros de altura, respectivamente. El sistema incluye un software que permite la programación de vuelos y el mapeo automático. Está diseñado para levantamientos de la batimetría de cuerpos de agua, el mapeo de infraestructura enterrada y revisión de trabajos de construcción, pero ofrece un gran potencial para aplicaciones de ciencias forenses y seguridad. Por ejemplo, este sistema se empleó para detección de minas de mano en regiones de Colombia, ofreciendo las ventajas de una nula exposición al riesgo de detonación y una mayor cobertura en menor tiempo que los métodos terrestres, además de poder ubicar espacialmente las minas con una profundidad de hasta 50 cm. También se probó en ecosistemas semihúmedos donde presentó una precisión superior al 80% (Colorado, 2017).

Otra tecnología incipiente con potencial para su aplicación en investigaciones forenses son las llamadas narices electrónicas (*e-nose*) que tienen la finalidad de ubicar compuestos orgánicos volátiles (COVs). El sistema ha sido aplicado para determinar el estado de una composta a partir de los gases que emite (López, Giráldez, Palma y Díaz, 2016). Empleando un arreglo de 10 sensores de óxido de metal el sistema toma muestras de COVs durante un tiempo de estabilización y posteriormente las analiza con la técnica de descomposición en componentes principales, permitiendo una caracterización del estado de la composta.

Las narices electrónicas también pueden ser montadas a bordo de VANTs para distintas aplicaciones. Por ejemplo, Pobkrut, Eamsa-ard, y Kerdcharoen (2016) desarrollaron una *e-nose* y la instalaron en un dron para detectar COVs tanto en ambientes cerrados (por ejemplo, un cuarto con evaporación de amoníaco), como en espacios abiertos con poco viento. Los autores prevén aplicaciones de seguridad, como la detección de explosivos y el monitoreo de riesgos industriales, hasta aplicaciones agropecuarias, como el monitoreo de la salud del ganado a partir del olor de sus heces y la detección del estado de la cosecha, entre otros.

## COMENTARIOS FINALES

Cuando una persona se aleja de la escena pierde capacidad para ver los detalles, pero aumenta la amplitud del área que puede observar. Lo mismo ocurre con las distintas técnicas de percepción remota y es una de las razones por las que el volumen de la literatura revisada evidencia que

han sido la forense ambiental y la arqueología forense las ramas de las ciencias forenses que más se han beneficiado de estos desarrollos tecnológicos. Afortunadamente, los avances recientes que incluyen un incremento en la sensibilidad y precisión de los dispositivos, el advenimiento de los VANTs, la diversificación de sensores, y el desarrollo de algoritmos de visión por computadora, aunado al abaratamiento e integración de soluciones completas, permiten vislumbrar que en la próxima década atestigüemos un mayor aprovechamiento de la percepción remota en otras áreas de las ciencias forenses.

Una de las áreas donde la investigación ha comenzado a explotar varias de estas tecnologías es en la búsqueda de enterramientos clandestinos. Algunas de las consideraciones que de ellas se desprenden son las siguientes:

- La comparación de la imagen histórica con adquisiciones recientes puede ayudar a determinar la hora del entierro.
- La identificación de vías de acceso es importante porque los objetos pesados raramente se transportan a más de 150 metros antes de ser enterrados.
- Un ángulo de iluminación bajo puede mejorar los rasgos sutiles del terreno en la fotografía aérea y en modelos de relieve sombreados.
- Es difícil localizar objetos que presentan diferencias espectrales muy sutiles con respecto al área circundante, por lo que el experto debe concentrarse en los rasgos diferenciables.
- El análisis espectral debe tomar en cuenta los estudios que han identificado bandas espectrales de absorción/reflexión asociadas a elementos específicos.
- Tener en cuenta que el crecimiento de la vegetación sobre sitios de enterramientos clandestinos es diferenciable de las áreas circundantes únicamente durante un período de tiempo corto.
- Conocer el tiempo óptimo para la adquisición de los datos puede ser útil para reducir tiempo, esfuerzo y costos.
- El análisis por termografía diferencial debe considerar una toma de referencia adquirida justo antes del amanecer o justo después del atardecer.

## ¿Y los 43?

De acuerdo con reportes periodísticos en línea (Mosso, 2016) durante el 2016 la PGR sobrevoló los municipios de Iguala, Cocula y Huitzuco con un sistema LiDAR de tecnología alemana y rusa para la búsqueda de los 43 estudiantes desaparecidos en Ayotzinapa, Guerrero, a partir de lo cual detectaron “60 nuevos sitios de búsqueda de fosas clandestinas”. Sin embargo, en el informe de la PGR (Torres y López-Guerrero, 2016) se señala que pese a que el equipo del GIEI, el Centro de Derechos Humanos Miguel Agustín Pro Juárez y EAAF Grupo de Expertos Independientes habían solicitado el sobre vuelo de LiDAR; la PGR empleó fotogrametría con drones empleando el sistema GrafNav y una cámara

G3. Los datos y los resultados de los análisis conducidos no fueron publicados.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento recibido del Fondo Institucional del CONACyT a través de la convocatoria de Problemas Nacionales 2014 para la realización del proyecto 249205 “Viabilidad de las imágenes hiperespectrales para la detección de fosas clandestinas en México”, sin el cual la generación de los resultados incluidos en el presente no habría sido posible. Al personal técnico y alumnos del posgrado del CentroGeo quienes en diferentes momentos apoyaron en el levantamiento y procesamiento de los datos, nuestro sincero reconocimiento.

## REFERENCIAS CITADAS

- Ammer, K., y Ring, E. (2005). Applications of thermal imaging in forensic medicine. *The Imaging Science Journal*, 53(3), 125–131.
- Batson, R., Edwards, K., y Eliason, E. (1975). Computer-generated shaded-relief images. *Journal of Research US Geol. Survey*, 3(4), 401-408.
- Bewley, R., Crutchley, S., y Shell, C. (2005). New light on an ancient landscape: Lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site. *Antiquity*, 79(305), 636-647.
- Brilis, G. M., Gerlach, C. L., y Waasbergen, R. J. (2000). Remote Sensing Tools Assist in Environmental Forensics. Part I: Traditional Methods. *Environmental Forensics*, 1(2), 63–67.
- Brilis, G. M., Van Waasbergen, R., Stokely, P., y Gerlach, C. (2001). Remote Sensing Tools Assist in Environmental Forensics: Part II—Digital Tools. *Environmental Forensics*, 3(2), 223-229.
- Caccianiaga, M., Bottacin, S., y Cattaneo, C. (2012). Vegetation dynamics as a tool for detecting clandestine graves. *Journal of Forensic Science*, 57(4), 983-988.
- Carter, D., y Tibbett, M. (2008). Cadaver Decomposition and Soil Processes. In M. Tibbett, y D. O Carter, *Soil Analysis in Forensic Taphonomy* (pp. 29-51). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Chang, C.-I. (2003). *Hyperspectral imaging: techniques for spectral detection and classification*. Springer Science & Business Media.
- Chase, A. F., Chase, D. Z., Weishampel, J. F., Drake, J. B., Shrestha, R. L., Slatton, K. C., . . . Carter, W. E. (2011). Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize. *Journal of Archaeological Science*, 38(2), 387-398.
- Colorado, J. a.-M. (2017). An integrated aerial system for landmine detection: SDR-based Ground Penetrating Radar onboard an autonomous drone. *Advanced Robotics*, 31(15), 791-808.
- Corcoran, K., Mundorff, A., White, D., y Emch, W. (2018). A novel application of terrestrial LiDAR to characterize elevation change at human grave surfaces in support of narrowing down possible unmarked grave locations. *Forensic Science International*, 320-328.
- Danson, F., Steven, M., Malthus, T., y Clark, J. (1992). High-spectral resolution data for determining leaf water content. *Int. J. Remote Sens.*, 13(3), 461-470.
- Davenport, G. C. (2001). Remote sensing applications in forensic investigations. (Springer, Ed.) *Historical Archaeology*, 35(1), 87-100.



- Davenport, G. C. (2017). *Remote Sensing Technology in Forensic Investigations: Geophysical Techniques to Locate Clandestine Graves and Hidden Evidence*. CRC Press.
- Dehaan, R., y Taylor, G. (2002). Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization. *Remote Sens Environ.*, 80, 406-417.
- Donnelly, J. (2002). *The Great Irish Potato Famine*. UK: The History Press.
- Dozal, L., Olague, G., Clemente, E., y Hernandez, D. (2014). Brain programming for the evolution of an artificial dorsal stream. *Cognitive Computing*, 6(3), 528-557.
- Dozal, L., Silván-Cárdenas, J., Moctezuma, D., Siordia, O., y Naredo, E. (2018). Evolutionary approach for detection of buried remains using hyperspectral images. *Photogramm Eng Remote Sensing*, 84(7), 19-34.
- Edelman, G., Gaston, E., Van Leeuwen, T., Cullen, P., y Aalders, M. (2012). Hyperspectral imaging for non-contact analysis of forensic traces. *Forensic Science International*, 223, 28-39.
- Edelman, G., Hoveling, R. J., Roos, M., van Leeuwen, T. G., y Aalders, M. C. (2013). Infrared imaging of the crime scene: possibilities and pitfalls. *Journal of forensic sciences*, 58(5), 1156-1162.
- Elmes, G. A., Roedl, G., y Conley, J. (2014). *Forensic GIS: the role of geospatial technologies for investigating crime and providing evidence* (Vol. 11). (G. A. Elmes, G. Roedl, y J. Conley, Eds.) Springer.
- Evans, D. H., Fletcher, R. J., Pottier, C., Chevance, J.-B., Soutif, D., Tan, B. S., . . . others. (2013). Uncovering archaeological landscapes at Angkor using lidar. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12595-12600.
- Evers, R. a. (2018). The application of low-altitude near-infrared aerial photography for detecting clandestine burials using a UAV and low-cost unmodified digital camera. 289, 408-418.
- Fensholt, R., y Sandholt, I. (2003). Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. *Remote Sens Environ*, 87, 111-121.
- Fisher, C., y Leisz, S. (2013). New Perspectives on Purépecha Urbanism Through the Use of LiDAR at the Site of Angamuco, Mexico. In D. C. Comer, y M. J. Harrower, *Mapping Archaeological Landscapes from Space. SpringerBriefs in Archaeology* (Vol. 5). New York, NY: Springer.
- France, D., Griffin, T., Swanburg, J., Lindemann, J., Davenport, G., Trammell, V., . . . otros. (1992). A multidisciplinary approach to the detection of clandestine graves. *Journal of Forensic Science*, 37(6), 1445-1458.
- Goetz, A., Vane, G., Solomon, J., y Rock, B. (1985). Imaging spectrometry for Earth remote sensing. *Science*, 228, 1147-1153.
- Grip, W. M., Grip, R. W., y Morrison, R. D. (2000). Application of aerial photography and photogrammetry in environmental forensic investigations. *Environmental Forensics*, 1(3), 121-129.
- Grip, W., Grip, R., y Morrison, R. (2000). Application of aerial photography and photogrammetry in environmental forensic investigations. *Environmental Forensics*, 1(3), 121-129.
- Herold, M., Schiefer, S., Hostert, P., y Roberts, D. (2006). Applying Imaging Spectrometry in Urban Areas. In Q. Weng, D. Quattrochi, y P. E. Gamba, *Urban Remote Sensing* (pp. 137-161). CRC press.
- Huck, F., y Lambiotte, J. (1969). *A performance analysis of the optical-mechanical scanner as an imaging system for planetary landers*. National Aeronautics and Space Administration. Washington (DC): NASA.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X., y Ferreira, L. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens Environ*, 83, 195-213.
- INEGI. (2012). *Norma técnica para la generación, captación e integración de datos catastrales y registrales con fines estadísticos y geográficos*. Retrieved from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/normastecnicas/>
- INEGI. (2018). *Descripción de la Red Geodésica Nacional Activa*. Retrieved julio 2018, from <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/rgna.aspx?p=22>
- Jin, S., y Sader, S. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbance. *Remote Sens Environ*, 94, 364-372.

- Kalacska, M., y Bell, L. (2006). Remote sensing as a tool for the detection of clandestine mass graves. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 39(1), 1-13.
- Kalacska, M., Bell, L., y Sanchez-Azofeifa, G. a. (2009). The Application of Remote Sensing for Detecting Mass Graves: An Experimental Animal Case Study from Costa Rica. *J Forensic Sci*, 54(1).
- Khallaf, A., y Williams, R. W. (1991). Post-mortem cooling of the human head: an infrared thermology study. *Journal of the Forensic Science Society*, 31(1), 7-19.
- Khanna, S., Palacios-Orueta, A., Whiting, M., Ustin, S., Riaño, D., y Litago, J. (2007). Development of angle indexes for soil moisture estimation, dry matter detection and land-cover discrimination. *Remote Sens Environ*, 109, 154-165.
- Koza, J. (1992). *Genetic Programming: On the programming of computers by means of natural selection*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Landgrebe, D. (1999). Some fundamentals and methods for hyperspectral image data analysis. In G. Cohn, y J. Owicki (Ed.), *Systems and Technologies for Clinical Diagnostics and Drug Discovery II*, SPIE 3603.
- Leberl, F., Irshara, A., Pock, T., Meixner, P., Gruber, M., Scholz, S., y Wiechert, A. (2010). Point clouds. *Photogrammetric Engineering y Remote Sensing*, 76(10), 1123-1134.
- LeBlanc, G., Kalacska, M., y Soffer, R. (2014). Detection of single graves by airborne hyperspectral imaging. *Forensic Science International*, 245, 17-23.
- Lein, J. K. (2012). Forensic remote sensing. In J. K. Lein, *Environmental Sensing* (pp. 279-301). Springer.
- Li, S., Qiu, J., Yang, X., Liu, H., Wan, D., y Zhu, Y. (2014). A novel approach to hyperspectral band selection based on spectral shape similarity analysis and fast branch and bound search. *Eng Appl Artif Intell*, 27, 241-250.
- Liang, J., Zhou, J., Bai, X., y Qian, Y. (2013). Salient object detection in hyperspectral imagery. *Proceedings of the 20th IEEE Conference on Image Processing (ICIP)*.
- Lillesand, T. a. (2014). Multispectral, Thermal y Hyperspectral Sensing. In T. Lillesand, R. W. Kiefer, y J. Chipman, *Remote sensing and image interpretation* (pp. 325-391). John Wiley y Sons.
- López, R., Giráldez, I., Palma, A., y Diaz, M. (2016). Assessment of compost maturity by using an electronic nose. *Waste management*, 48, 174--180.
- Meng, X., Currit, N., y Zhao, K. (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing*, 2(3), 833--860.
- Molina, C., Pringle, J., Saumett, M., y Evans, G. (2016). Geophysical and botanical monitoring of simulated graves in a tropical rainforest, Colombia, South America. *Journal of Applied Geophysics*, 135, 232-242.
- Mosso, R. (2016, sep 26). *Con tecnología alemana y rusa buscan a los 43*. Retrieved from <http://www.milenio.com/policia/con-tecnologia-alemana-y-rusa-buscan-a-los-43>
- Olson, C., y Zhu, Z. (1985). Forest species identification with high spectral resolution data. *JPL Proc. of the Airborne Imaging Spectrometer Data Anal. Workshop* (pp. 152-157). Michigan Univ; School of Natural Resources; Ann Arbor, MI, United States.
- Parrington, M. (1983). Remote Sensing. *Ann. Rev. Anthropol.*, 12, 105--124.
- Peñuelas, J., Baret, F., y Filella, I. (1995). Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31(2), 221-230.
- Petrie, G., y Walker, A. (2007). Airborne digital imaging technology: a new overview. *The Photogrammetric Record*, 22(119), 203-225.
- Plaza, A., Benediktsson, J., Boardman, J., Brazile, J., Bruzzone, L., Camps-Valls, G., . . . Trianni, G. (2009). Recent advances in techniques for hyperspectral image processing. *Remote Sens Environ*, 110-122.
- Pobkrut, T., Eamsa-ard, T., y Kerdcharoen, T. (2016). Sensor drone for aerial odor mapping for agriculture and security services. *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2016 13th International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.

- Pringle, J., Ruffell, A., Jervis, J., Donnelly, L., McKinley, J., Hansen, J., . . . Harrison, M. (2012). The use of geoscience methods for terrestrial forensic searches. *Earth-Science Reviews*, 114(1-2), 108-123.
- Ruffell, A., McCabe, A., Donnelly, C., y Sloan, B. (2009). Location and Assessment of an Historic (150–160 Years Old) Mass Grave Using Geographic and Ground Penetrating Radar Investigation, NW Ireland. *Journal of forensic sciences*, 54(2), 382-394.
- Schultz, J. (2008). Sequential monitoring of burials containing small pig cadavers using ground penetrating radar. *Journal of Forensic Sciences*, 53(2), 279-287.
- Schultz, J., y Martin, M. (2011). Controlled GPR grave research: comparison of reflection profiles between 500 and 250 MHz antennae. *Forensic Science International*, 209(1-3), 64-69.
- Shan, J., y Toth, C. K. (2018). *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*. CRC press.
- Silván-Cárdenas, J., Corona-Romero, N., Madrigal-Gómez, J., Saavedra-Guerrero, A., Cortés-Villafranco, T., y Coronado-Juárez, E. (2017). On de detectability of buried remains with hyperspectral measurements. In J. Carrasco-Ochoa, J. Martínez-Trinidad, O.-L. J, y M.-T. J.-L. Carrasco-Ochoa J (Ed.), *Pattern Recognition, MCPR 2017* (Vol. LNCS 10267, pp. 201-212). Cham, Switzerland: Springer.
- Tam, G. K., Cheng, Z.-Q., Lai, Y.-K., Langbein, F. C., Liu, Y., Marshall, D., . . . Rosin, P. L. (2013). Registration of 3D point clouds and meshes: a survey from rigid to nonrigid. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(7), 1199-1217.
- Torres, E. O., y López-Guerrero, L. G. (2016). *Informe del Caso Iguala. Estado que guarda la investigación de los hechos del 26 y 27 de septiembre de 2014, en Iguala, Guerrero*. Ciudad de México: Procuraduría General de la República.
- Tucker, C. (1980). Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote Sens Environ*, 7, 1395-1416.
- Van Iersel, M., Veerman, H., y Van der Mark, W. (2009). Modelling a crime scene in 3D and adding thermal information. *Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications VI*. 7481, p. 74810M. International Society for Optics and Photonics.
- Wadsworth, A., Looyen, W., Reuter, R., y Petit, M. (1992). Aircraft experiments with visible and infrared sensors. *Int. J. Remote Sensing*, 13(6-7), 1175-1199.
- Wehr, A., y Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 54(2-3), 68-82.
- Zandler, H., Brenning, A., y Samimi, C. (2015). Potential of space-borne hyperspectral data for biomass quantification in an arid environment: advantages and limitations. *Remote Sens*, 7(4), 4555-4580.



# S5

## Sección 5: Estudios de caso

- 25. La Colección Osteológica de Referencia del Cementerio Xoclán, Mérida, Yucatán 459
- 26. Las Palabras Desplazadas. Descifrando lo Intangible a través de la Ficha de Datos Antemortem y la Entrevista con Familiares de Personas Desaparecidas 468
- 27. Otras Formas de Desaparición: La Experiencia en la Fosa Común del Panteón de Palo Verde, Xalapa, Veracruz 477
- 28. Clasificación de Lesiones Dentales en el Ámbito Penal de la Odontología Forense en la Ciudad de México. Estudio de Caso 500
- 29. La Antropología Física Forense en Situaciones de Emergencia: 19 de Septiembre en la Ciudad de México 513
- 30. Democracia y Prácticas de Antropología Forense en Brasil en la Búsqueda de Desaparecidos de la Dictadura Militar 531

## La Colección Osteológica de Referencia del Cementerio Xoclán, Mérida, Yucatán

Julio Roberto Chi Keb<sup>1</sup>

Vera Tiesler Blos<sup>1</sup>

Raúl López<sup>1</sup>

Allan Ortega Muñoz<sup>2</sup>

Palabras clave: población yucateca, colección de referencia, población actual.

### RESUMEN

El presente documento expone la historia y la composición de una colección esquelética de referencia, compuesta por 175 osamentas documentadas debidamente, las cuales fueron recuperadas de la fosa común del cementerio Xoclán de la ciudad de Mérida. La colección esquelética fue generada y acrecentada como parte del proyecto “Demografía y enfermedad de los antiguos habitantes de Yucatán a través del análisis histomorfológico de sus restos” financiado por el *Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología* (CONACyT, Proyectos 37743-H, 49982 y 152105). La información referente a cada uno de los individuos fue proporcionada por la administración del cementerio y corroborada con la consulta de las actas de defunción que fueron facilitadas por las autoridades del Registro Civil del Estado de Yucatán. La colección está integrada por 52 individuos femeninos y 123 individuos masculinos.

### ABSTRACT

In this essay, we present the background and composition of a modern skeletal reference collection of 175 documented individuals, which was recovered from the municipal cemetery of Xoclán in the city of Mérida. The human skeletal collection was collected as part of the project “Demography and

1 Facultad de Ciencias Antropológicas, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

2 Instituto Nacional de Antropología, Centro INAH Quintana Roo, México

Disease of the Ancient Inhabitants of Yucatan through the Histomorphological Analysis of their Remains” funded by the *Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología* (CONACyT, Projects 37743-H, 49982 and 152105). The information referring to each of the individuals was provided by the administration of the cemetery and corroborated with the consultation of the death certificates that were provided by the authorities of the Civil Registry of the State of Yucatan. At present, the collection is composed of 52 females, and 123 males.

## INTRODUCCIÓN

La recolección, documentación y el resguardo institucional de la serie esquelética moderna del Cementerio Xoclán surge de la necesidad de contar con un marco de referencia osteológico regional, apto para estudios del tipo antropofísicos y forenses. En la actualidad hay una gran necesidad de contar con colecciones de referencia contemporáneas para poder contribuir en la investigación académica, médica y aplicaciones forenses, así como en el estudio de las poblaciones prehispánicas en retrospectiva.

La colección se recuperó y se documentó entre 2003 hasta la fecha gracias al establecimiento de un convenio de colaboración entre la Universidad Autónoma de Yucatán y las dependencias de gobierno estatal y municipal, asimismo al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (proyectos de investigación básica 37743-H, 49982 y 152105) y el Laboratorio de Bioarqueología e Histología de la Facultad de Ciencias Antropológicas de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Recientemente se ha incrementado el número la colección osteológica haciendo un total de 222 individuos registrados, de los cuales solamente 175 individuos están debidamente documentados a la fecha; la mayoría de estos últimos proviene de la ciudad de Mérida y de comunidades (comisarias) de los alrededores de la ciudad, un menor número de individuos proviene de municipios del interior del estado de Yucatán y de otros estados del interior de la República.

## ANTECEDENTES DEL CEMENTERIO XOCLÁN

El cementerio Xoclán fue construido durante la administración del Gobernador Dr. Francisco Luna Kan (1976-1982) e inaugurado el 17 noviembre de 1981. El proyecto original contempla una capacidad de 40,000 fosas (dobles, sencillas o pequeñas y un sótano para 600 criptas) (Anónimo 1984, 1999). A lo largo de las cuatro décadas de su funcionamiento y a causa de su

ocupación cada vez más masiva (por la urbanización y el crecimiento poblacional acentuado en los últimos años), la capacidad del cementerio ya ha llegado a sus límites de carga y espacio.

El Reglamento de Panteones y Cementerios del Estado de Yucatán establece en sus artículos el sustento de los trabajos de elaboración de los convenios de colaboración que se han firmado a lo largo de estos años: El Artículo 27 establece: “Las exhumaciones podrán realizarse una vez transcurrido el plazo de tres años establecidos por las autoridades sanitarias, previo pago de los derechos correspondientes, con permiso de la Subdirección y de las autoridades sanitarias de conformidad a lo establecido en las Leyes de la materia” (Reglamento del Servicio Público de Panteones del Municipio de Mérida, Yucatán 2007). Por otro lado, el Artículo 34 refiere que “las personas físicas o jurídicas que obtengan la autorización de la autoridad sanitaria correspondiente para la realizar una exhumación en la fosa común, debe de cumplir con los requisitos previamente establecidos por la Subdirección para tal efecto” (Reglamento del Servicio Público de Panteones del Municipio de Mérida, Yucatán 2007).

La información proporcionada por la administración del cementerio es validada por lo que establece en el Capítulo VIII. La concesión de uso y su extinción, en tanto que el Artículo 48 prevé que “para el caso de haber vencido el período de tres años se exhumarán los restos, los cuales se enviarán a la fosa u osario común, previo registro en un libro especialmente destinado para tal efecto, en el cual se anotará el nombre, la edad, la nacionalidad, el sexo y el domicilio de la persona fallecida, causa que determinó su muerte, la Oficialía del Registro Civil que expidió el acta correspondiente, asentando su número y la ubicación del lote o fosa que desocupa...” (Reglamento del Servicio Público de Panteones del Municipio de Mérida, Yucatán 2007).

Fundamentándose en los capítulos y artículos mencionadas se procedió a la firma del primer convenio de colaboración interinstitucional entre la Universidad Autónoma de Yucatán

y el Gobierno Municipal de Mérida en 2005 y sucesivamente en los años 2007, 2013 y 2015. En cada período de recolecta, se seleccionaba y apartaban restos áridos con datos personales verificables y que contaban con un buen estado de preservación. Los criterios de selección nos planteaban una posible problemática de sesgo, lo cual por principio limitaría su representatividad poblacional. No obstante, los datos recuperados del registro civil indican que los individuos que integran la serie recolectada pertenecen mayormente, y en promedio, a los sectores socioeconómicos medios y bajos de la ciudad de Mérida y áreas conurbadas, y no totalmente marginados como se había esperado con anterioridad. La mayoría de los difuntos son de sexo masculino, de edad madura a senil y provienen de albergues o casas hogares generalmente de la zona sur de la ciudad de Mérida e inmediaciones del cementerio (Chi 2010).

## PROCESO DE SELECCIÓN Y RECOLECCIÓN DE RESTOS ÁRIDOS

Las especificaciones de dicho convenio estipulan que los restos deben de ser macerados, restaurados e inventariados en las instalaciones del Laboratorio de Bioarqueología e Histología de la Facultad de Ciencias Antropológicas. Para la obtención del material osteológico se procedió a diseñar un protocolo de recuperación que prescribe solicitar un listado de las fosas que habían cumplido el tiempo reglamentario de alquiler, proceder con la revisión de las actas de defunción de cada uno de individuos anotados en dicho listado; y finalmente, ya con la información de cada uno de los individuos, revisar y seleccionar las bolsas que contenían los restos áridos de los individuos. Aunque escueto, el protocolo resultó ser de gran ayuda, ya que en la primera temporada de exhumación (2005) solamente se recolectaban especímenes que tuvieran buen estado de conservación, sin que la mayoría contasen con documentación del registro civil asegurada; y, por tanto, no son útiles para la mayoría de las investigaciones esqueléticas que recurren a esta serie. Del total de la vigencia de los cuatro convenios se han podido recuperar un total de 222 osamentas recuperadas y resguardadas en el Laboratorio de Bioarqueología a la fecha.

De igual forma, la información de cada uno de los individuos que conforman la colección siguió un protocolo previamente establecido según las necesidades del proyecto. Fueron

consultadas las actas de defunción, previa autorización de las autoridades del Registro Civil del Estado de Yucatán, cuyos rubros consultados y transcritos incluyen la siguiente información: la causa de muerte, el lugar de procedencia (nacimiento y último domicilio de residencia), el sexo, la edad al fallecer, la fecha de nacimiento y de defunción, el estado civil más el nombre del cónyuge. Se agregan el nombre de la persona encargada de la realización de los trámites funerarios, del médico que expide el acta de defunción, e indicaciones sobre lugar y forma de enterramiento (bóveda o nicho).

Todos los individuos identificados y seleccionados fueron exhumados y etiquetados por el personal del cementerio, ya que únicamente ellos están autorizados legalmente a realizar dicha actividad, tal como lo estipula el Reglamento de Cementerio y Panteones. Sin embargo, en todo momento de la exhumación el personal del Laboratorio de Bioarqueología e Histología estuvo presente, supervisó las actividades y que todos los restos óseos se recuperaran adecuadamente, sin perder la cadena de referencias de identificación individual. Agregamos, que para trasladar dichos restos áridos al Laboratorio de Bioarqueología e Histología, tramitábamos cada vez los permisos correspondientes de salubridad y cubríamos las cuotas aplicables en Yucatán para el traslado de restos áridos (figura 1 y figura 2).

## MACERACIÓN Y LIMPIEZA

El proceso de limpieza de las osamentas, trasladadas a la Universidad Autónoma de Yucatán, se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Bioarqueología por practicantes y estudiantes de servicio social, siempre bajo la supervisión del Técnico de Laboratorio.

Primero, los restos se limpiaron de forma manual con instrumental fino. A fin de eliminar todo resto adherido a la superficie ósea, se utilizaron cepillos de cerdas suaves e instrumentos de dentista. Posteriormente, fueron inmersos en una solución de 30 ml de quitosan y 10 ml de jabón quirúrgico, todo diluido en dos litros de agua destilada. Esta mezcla ha dado buenos resultados en términos de la integridad y conservación de todos los materiales óseos, ya que evitan la agresión química de los desinfectantes antes empleados (peróxido de hidrógeno diluido por un período de 24 horas).





**Figura 1.** Individuo femenino recuperado directamente de su ataúd colección del cementerio Xoclán

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.** Osamenta recuperada que estaba dentro de un costal de fibra sintética colección del cementerio Xoclán

Fuente: Elaboración propia

Para la debida documentación biográfica de cada difunto, se solicitó el permiso correspondiente a la administración del Registro Civil con sede en la ciudad de Mérida. Ahí se acudió para la revisión de las actas de defunción, de las cuales se obtuvo la siguiente información: fecha de nacimiento, fecha de defunción, fecha de inhumación, causa de muerte, lugar de origen, ciudadanía, y último lugar de residencia. Sobre decir que todos los datos recabados de las actas son tratados estrictamente en forma confidencial, tal como lo establece la Asociación Latinoamericana de Antropología Forense.

La información relativa al sexo y la edad, recabados de cada resto árido, fue corroborada utilizando las referencias osteológicas vigentes además de una serie de mediciones de las alas pélvicas, diseñadas para la discriminación del sexo en adultos (Bruzek 2002) y huesos largos (Buikstra y Ubelaker 1994). Para la estimación de la edad a la muerte se revisaron sistemáticamente las sínfisis púbicas y las superficies auriculares, siguiendo los criterios propuestos por Brooks y Suchey (1990) y Lovejoy et al. (1985), respectivamente.

## PRESENTACIÓN DE DATOS

Desde su conformación, la colección esquelética del cementerio Xoclán ha servido para elaboración de estándares osteológicos y forenses, diversos estudios histológicos y macroscópicos, que sirven de modelos de referencia, aplicados en colecciones arqueológicas, coloniales y forenses (Chay 2011; Chi 2010; Chi et al. 2013; Chi et al. 2016; Gómez et al. 2010; Maggiano, C. 2012; Maggiano, I. 2012; Maggiano et al. 2012; Maldonado 2008; Tiesler et al. 2012; Valencia et al. 2010).

Al momento, la colección esquelética del cementerio Xoclán está integrada por 222 osamentas. El 78% del total se pudo documentar, en tanto que las osamentas restantes no conservan información individual segura, debido a que los datos proporcionados por la administración del cementerio muestran discrepancias con los datos de las actas de defunción.

A continuación, se presentan los datos recabados de 175 individuos, de los cuales 29.71% (n=52) corresponden a individuos femeninos y 70.28% (n=123) son individuos masculinos. La poca presencia, en la colección, de individuos femeninos responde a factores de preservación

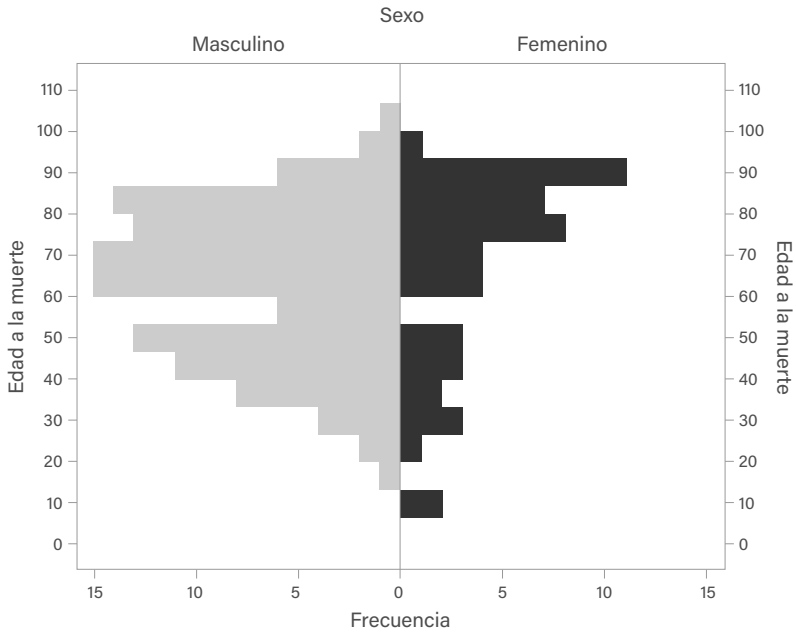
ósea, es decir, las mujeres de edad adulta con presencia de osteoporosis presentaban graves daños en el material óseo. Por consecuencia, esto derivó en que las osamentas femeninas no cumplieran los criterios de selección. Por otra parte, la mayor presencia de individuos masculinos se debe a que las bóvedas donde se encontraban en primera instancia no fueron reabiertas hasta el momento del lanzamiento por vencimiento del alquiler de la fosa. Esta última condición se traducirá, sin duda, en una limitante de la representatividad poblacional y una más reducida aplicabilidad del segmento femenino de la colección.

## PERFIL POBLACIONAL Y PERSPECTIVAS PARA SU ESTUDIO

Las edades de los individuos de la colección van desde los 8 años hasta los 104 años. Los rangos de edades a la muerte que tienen mayor presencia en la colección identifican los rangos desde 41 a los 50 años hasta los 90 años y mayores. Como se puede observar en la [figura 3](#), las edades más representadas corresponden a los grupos adultos maduros y seniles. Conversamente, la casi ausencia de las edades infantiles y jóvenes se debe, a nuestro parecer, a dos factores que dan testimonio desde los mismos trabajos de selección y recolecta de las osamentas: La ausencia de individuos subadultos deriva porque los miembros del seno familiar de los niños difuntos se mantenían al corriente con los pagos, antes del vencimiento del alquiler y mantenimiento, de las fosas. Otro factor más que explica la baja presencia, se vincula con la degradación tafonómica acelerada de los difuntos que no han logrado su madurez.

En la distribución de la edad y el sexo se observan diferencias. La [figura 3](#) representa la proporción de la presencia de individuos femeninos y masculinos. Como se observa en la colección hay pocos individuos femeninos en grupos de edades infantiles, la edad adulta en comparación con los individuos masculinos el número es mayor. La edad a la muerte se presenta en mayor número en masculinos que va de los grupos de edades de 41 – 50 años, hasta el grupo de 90 + años.

En lo que concierne al lugar de origen de los individuos, casi todas las osamentas resultan ser locales, principalmente oriundos de la capital yucateca, Mérida (68.39%). Un individuo marca su origen como quintanarroense y otro se



**Figura 3.** Representación total de mujeres y hombres, así como por grupos de edades presentes en la colección del cementerio Xoclán

Fuente: Elaboración propia

identifica como extranjero con procedencia en Panamá. No omitimos señalar que en una cuarta parte de la colección osteológica no se identificó la procedencia, dadas las discrepancias entre el registro del acta de defunción y el registro civil (figura 4).

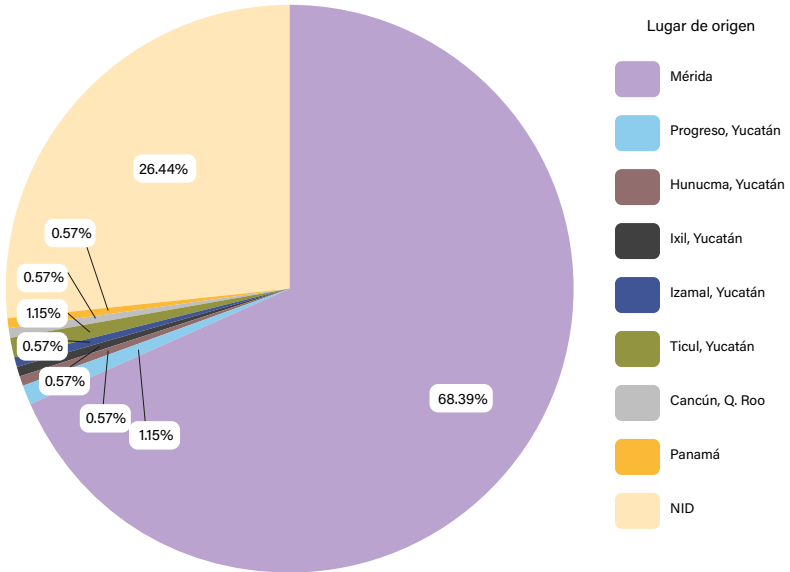
En la figura 5 se muestran las frecuencias porcentuales de los lugares de defunción. El 57.14% falleció en hospitales del estado, 25.71% fallecieron en sus hogares, el 12.14% en algunos de los albergues que se encuentran en la ciudad y el 5.01% en la cárcel pública.

En la figura 6 se presentan las causas de muerte por las que fallecieron hombres y mujeres, se observa que las enfermedades cardíacas son la principal causa, le sigue falla orgánica múltiple, enfermedades respiratorias, choque séptico, sólo por mencionar las que comparten ambos grupos.

Concluimos que, al momento, la serie de Xoclán sigue como única de su tipo en la Península de Yucatán y en la región sureste mexicana que puede servir para los citados estudios generales e indagaciones de caso. Se espera que la misma pueda contribuir en una creciente gama de investigaciones académicas en la región y más allá, tanto de tipo antropológico, médico, odontológico, nutricional y propiamente forense (Tiesler et al. 2020).

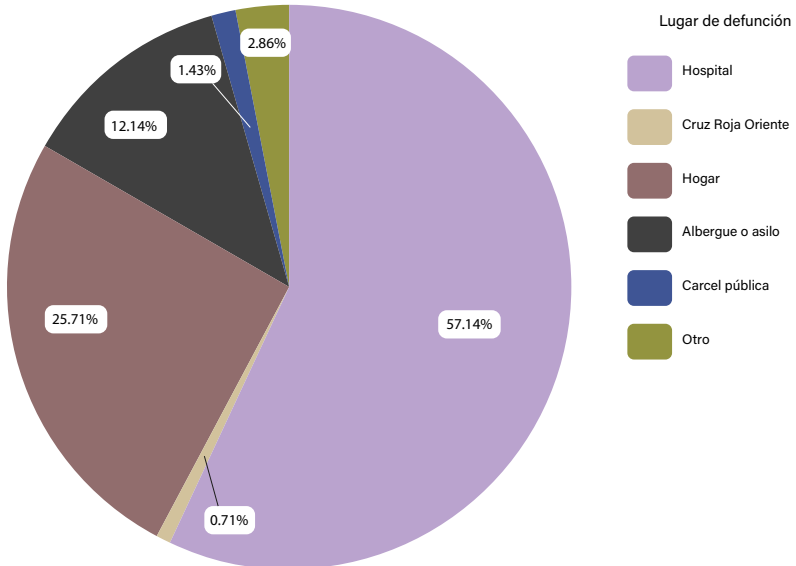
## AGRADECIMIENTOS

La conformación de la muestra esquelética procedió gracias al convenio específico de colaboración entre la Universidad Autónoma de Yucatán y el Gobierno Municipal de Mérida. El apoyo que hemos recibido del Dr. Christopher Goetz, la Restauradora Perito Luisa Mainou, a Araceli Hurtado, Margarita Valencia, a los alumnos de Servicio Social, al personal administrativo y



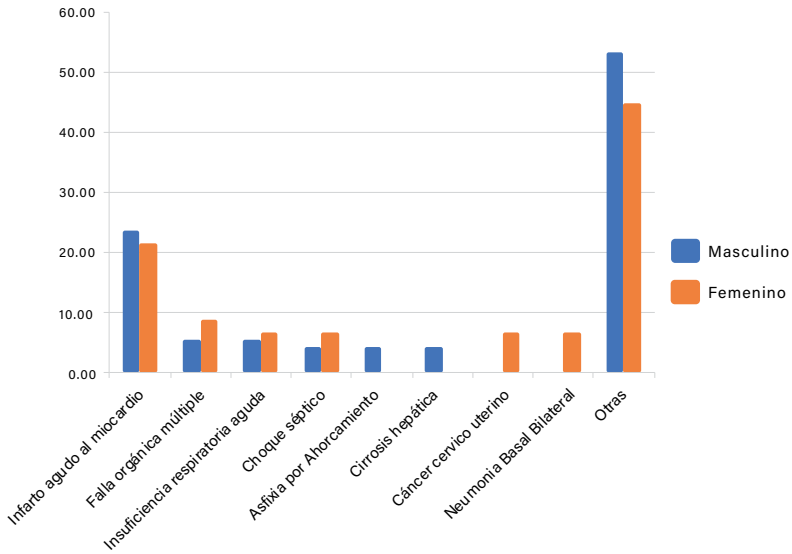
**Figura 4.** Representación porcentual por sexo y edad de los individuos de la colección Xoclán

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5.** Representación de los lugares donde se reportan los sitios de defunción de los individuos de la Colección osteológica de Xoclán

Fuente: Elaboración propia



**Figura 6.** Principales causas de muertes de los individuos de la Colección osteológica de Xoclán

Fuente: Elaboración propia

de campo del cementerio Xoclán por su apoyo prestado en la exhumación y recolección de los esqueletos. Un agradecimiento a la Dra. Mónica Rodríguez y al Dr. Andrea Cucina quienes amablemente realizaron las primeras revisiones de este trabajo. Este estudio fue apoyado por un proyecto de investigación, titulado “Nuevas

referencias histomorfométricas sobre edad a la muerte, morbilidad y condiciones de vida de entre los antiguos mayas”, financiado por el Consejo Mexicano Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT, Proyectos 37743-H, 49982 y 152105).

## REFERENCIAS CITADAS

- Anónimo. 1984. Lamentable abandono en el nuevo cementerio de Xoclán. *Diario de Yucatán*, 8 de octubre, Año XL, edición 130, Tomo CCLXXXIV/21,336, Sección C, pp. 1c y 8c.
- Anónimo. 1999. Los cementerios de Mérida, con capacidad suficiente para una década. *Diario de Yucatán*, 13 de junio, Año LXXV, edición 14, Tomo CDLIX/26,622, Sección local pp. 1 y 19.
- Brooks ST, Suchey JM. 1990. Skeletal age determination based on the os pubis: a comparison of the Ascarí-Nemeskéri and Suchey Brooks methods. *J Hum Evo* 5: 227–238.
- Bruzek J. 2002. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *Am J Phys Anthropol* 117:158–167.
- Buikstra JE, Ubelaker D. 1994. Standards for data collection form human skeletal remains. Fayetteville: Arkansas Archaeological Survey Research Series no. 44.
- Chay S. 2011. Condiciones de vida y cambio cultural en la península de Yucatán. Tesis de licenciatura inédita, Facultad de Ciencias Antropológicas. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Chi JR. 2010. El trauma como indicador de estilo de vida en la población esquelética de la población contemporánea

- del Cementerio Xoclán, Mérida, Yucatán. Protocolo de especialización inédito, Facultad de Ciencias Antropológicas. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Chi JR, Albertos VM, Ortega A, Tiesler V. 2013. A new reference collection of documented human skeletons from Mérida, Yucatan, Mexico. *HOMO* 64(5):366-376.
- Chi J, Tiesler V, Albertos V, Ortega A. 2016. Documentando y contextualizando la colección esquelética del cementerio municipal de Xoclán, Mérida, Yucatán. *Estudios de Antropología Biológica* 17:163-182.
- Gómez JA, Sánchez G, Martínez N, Quinto M, Acuña V, Serrano C, Chi J, Karam C, Tiesler V, Cucina A, González J. 2010. Trayectorias microevolutivas de la morfología cráneo facial en Mesoamérica. Ponencia presentada durante el I Congreso de Bioarqueología en área Maya. Mérida: UADY.
- Lovejoy C, Meindl ORS, Pryzbeck TR, Mensforth RP. 1985. Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: a new method for the determination of adult skeletal age at death. *Am J Phys Anthropol* 68:15-28.
- Maggiano, CM. 2012. Histomorphometry of humeral primary bone: evaluating the endosteal lamellar pocket as an indicator of modeling drift in archaeological and modern skeletal samples. Tesis de doctorado inédita. Columbus: Ohio State University.
- Maggiano, IS. 2012. Análisis microscópico de la variación en el desplazamiento (drift) por modelación ósea: una comparación entre poblaciones yucatecas antiguas y modernas. En: Tiesler V. (Ed.). Aplicaciones histomorfológicas en el estudio de restos humanos. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán. p 149-169.
- Maggiano IS, Maggiano CM, Tiesler V, Stout S. 2012. Quantitative histomorphometry of humeral and femoral diaphyses: a longitudinal comparison of osteon population density and primary bone deposition in eight anatomical regions of interest along the bone shaft. *Am J Phys Anthropol* 147(54):34.
- Maldonado MR. 2008. El perfil de la transformación del cuerpo humano. Estudio tafonómicos comparativo entre los crímenes de guerra interna en Guatemala y los posibles crímenes comunes en Yucatán, México. Tesis de maestría inédita, Facultad de Ciencias Antropológicas. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Reglamento del Servicio Público de Panteones del Municipio de Mérida, Yucatán 2007
- Tiesler V, Rodríguez M, Chay S, Chi J. 2012. What we learn from the past: health, life style and urbanism in prehispanic, colonial and modern populations in Yucatán. *International Congress of Americanists*, 54:197.
- Tiesler V, Chi JR, Ortega A. 2020. Crossing the Threshold of Modern Life: Comparing Disease Patterns Between Two Documented Urban Cemetery Series from City of Merida, Yucatan, Mexico. En Azcorra H, Dickinson F (Ed.). *Culture, Environment and Health in the Yucatan Peninsula. A Human Ecology Perspective*. New York: Springer. p 243-257.
- Valencia M, Cucina A, Tiesler V. 2010. New formulas to estimate age-at-death in maya populations using histomorphological changes in the fourth human Rib. *J Forensic Sci* 55:473-477.

# 26

## Las Palabras Desplazadas. Descifrando lo Intangible a través de la Ficha de Datos Antemortem y la Entrevista con Familiares de Personas Desaparecidas

Eliana Maniaci<sup>1</sup>

Eric García-López<sup>2</sup>

Palabras clave: ficha de datos antemortem, entrevista, familiares

### RESUMEN

El trabajo que se propone es un primer acercamiento a la entrevista de los familiares de personas desaparecidas y la recopilación de datos *antemortem*. Frente a una escasa bibliografía y a una falta de sistematización importante se quiere echar luz sobre una fase primaria dentro del proceso de búsqueda de personas desaparecidas. La desaparición de una persona amada y su muerte violenta es sin duda una de las más traumáticas que puede experimentar el ser humano. Por lo que la colaboración con personas que están sufriendo una pérdida de este tipo representa una operación sumamente delicada que obliga a todo profesional a reflexionar sobre la cuestión. Este capítulo manifiesta la urgente necesidad de normalizar esta etapa sistematizando la toma de la entrevista y una ficha de datos *antemortem* apropiada.

---

1 Instituto de Formación Profesional en Ciencias Forenses. E-mail: eliana.maniaci.em@gmail.com; eliana.maniaci@institutoforense.es.  
2 Instituto Nacional de Ciencias Penales, Investigador Titular, Sistema Nacional de Investigadores. Email: garcialopez@gmx.com

## ABSTRACT

This investigation is an introduction to family assistance during the *antemortem* data collection. Facing an insufficient bibliography and an important lack of systematization we would like to shed light on a primary phase in the process of searching of missing persons: the interview of the *antemortem* data form. The disappearance of a loved person and his/her violent death is one of the most traumatic loss. For this reason, the collaboration with people suffering this kind of loss represents a very delicate operation that obliges every professional to reflect on it. This chapter explains the urgent need to normalize this phase systematizing the interview and an appropriate *antemortem* data form.

## INTRODUCCIÓN

## La muerte invisible

El carácter ineludible de la muerte, su paso eterno y constante, su misma universalidad ha suscitado en el ser humano una invitación a la desesperación (Giambetti, 2013). A pesar de la rebosante científicidad que rodea cualquier discurso técnico sobre la muerte «biológica» (Thomas, 2015), es indudable que toda muerte «natural», es decir cuando la misma sorprende a un ser humano ya en avanzada edad, representa un momento particularmente doloroso para los deudos. Frente a la necesidad de afrontar esta aflicción y racionalizar esta naturaleza aniquiladora y *extraordinaria*, el hombre se ha apoyado en un imaginario hecho de dioses, mitos y rituales exorcisadores. Jankélévitch (2009) define esta realidad como «la tangente entre el misterio metaempírico y el fenómeno natural».

Aun así, la muerte es tan familiar cuanto ajena. Entre las diversas y polifacéticas tipologías de morir, hay una muerte injustificable que engendra un ritual funerario incompleto, un luto imperecedero que transforma lo intangible en una representación ausente. Se podría definir la desaparición de una persona como una tipología de muerte invisible, una muerte individual, social y cultural, que no pide la presencia de un cadáver, sino que personifica una búsqueda incesante. Alrededor de una figura desaparecida, se despliega la potencia polisémica y simbólica de la ausencia: se trata de una muerte igualmente inexistente y presente. El hallazgo de los restos humanos transforma esa muerte intangible, posible pero alejada, en una muerte real que desenrolla una serie de comportamientos, actitudes, prácticas y rituales funerarios que desembocan finalmente en las fases de luto y duelo. Sin embargo, este luto y duelo puede generar alteraciones cognitivas, emocionales y conductuales vinculadas a un proceso traumático (Heeke,

Stammel y Knaevelsrud, 2015; Blanco, Díaz y García, 2006), mismas que deben ser tomadas en seria consideración para el abordaje más adecuado y de mejor cuidado y atención a la salud mental de quienes padecen estos sufrimientos.

Enmarcado en este discurso, el cadáver desempeña un papel protagónico. A pesar de la repulsión y los sentimientos ambivalentes que suscita la tanatomorfosis (horror, olor, putrefacción, impureza, necrofilia) el destino del cuerpo ha sido desde siempre una preocupación para el ser humano: que se abandonara a los animales como en Mongolia o en Tíbet (Thomas, 2015), se sepulte como en Europa y en muchos más países, o se practique el rito de la inmersión o de la momificación, las conductas mortuorias (es decir esas relacionadas con el cadáver) han hecho patente la importancia de su tratamiento y su futura demora. Mas, no hay rito mortuario ni funerario, duelo ni muerte «biológica» sin un cuerpo. Thomas (2015) nos recuerda que la muerte para el médico forense, «más que un problema anatomopatológico, es una cuestión de identificación». Por ello, la falta de un cuerpo no permite avanzar hacia un sistema simbólico designado por la sociedad, la cultura y/o la religión correspondiente.

Por otro lado, la eventualidad de que la persona desaparecida haya sufrido algún tipo de tortura, abuso o violencia transforma la desaparición y «la representación de la muerte» en un evento traumático: «el familiar se expone a un dolor psíquico intenso que destruye los espacios internos representacionales y se sumerge en el campo de lo irrepresentable» (Castillo Vergara, 2013). El recuerdo de la persona ausente queda congelado (Robledo Silvestre, 2017), mientras que «el imaginario se vuelca a “las *imago*s del cuerpo despedazado” (Lacan) de castración, de mutilación, de devoración, de estallido del cuerpo. Estas *imago*s despiertan angustias y vivencias de lo siniestro, y asoma lo que Winnicott describiera como “angustia sin nombre”, invasora e invalidante» (Castillo Vergara, 2013). Igualmen-



te, la ausencia del cuerpo, y por ende del lugar de culto (Blair Trujillo, 2005), genera una falta de reconocimiento social del dolor del familiar: sólo la materialidad de la muerte de una persona conduce el grupo hacia la celebración del ritual establecido y por ende a la reconstrucción de la memoria social (Castillo Vergara, 2013).

Resumiendo, la desaparición de una persona amada, la incógnita sobre su paradero o su estado de salud, y el descubrimiento de su muerte violenta es sin duda una de las pérdidas más traumáticas (Lenferink et al., 2017a, b). Por lo tanto, si el hallazgo incompleto de restos humanos (en algunos casos de solamente muy pocas partes como el cráneo o los pies) podría implicar un interminable duelo inconcluso, la mutilación por práctica criminal, intento de ocultamiento o cancelación de la identidad no solamente encarna una forma de comunicación y un medio de expresión del mismo criminal, sino que declama la aniquilación social y física de la persona.

Ciertamente, esta pérdida no corresponde a una simple muerte «biológica», pero conlleva a la ausencia de la parte física o psicológica de la persona amada, lo cual provoca lo que Boss (1999) define como una «pérdida ambigua», es decir una situación de desconocimiento y falta de información sobre el estado de salud del ser querido, como podría ser el caso de una desaparición forzada<sup>3</sup>, un aborto, migración (Rycroft et al., 2001) o un trastorno mental (Betz et al., 2006). Esto provoca una cierta incertidumbre acerca de la relación con el familiar. A tal propósito, Boss (1999; 2006) presenta dos tipologías (Betz et al., 2006): la primera tiene lugar cuando una persona es físicamente ausente pero presente psicológicamente; mientras que la segunda se realiza cuando la persona es físicamente presente pero psicológicamente ausente. En la primera situación, los familiares no saben si la persona sigue viva (no hay un cuerpo), como en el caso de soldados o civiles desaparecidos en un contexto bélico, en actos de terrorismo o durante un terremoto. En el segundo caso, la persona es ausente emotiva y cognitivamente, lo que provoca una

confusión en los roles y un congelamiento de las relaciones; por ejemplo, en la demencia, el autismo o Alzheimer (Boss, 2006).

Tomando en cuenta el tema del presente capítulo, se profundizará la pérdida relacionada con la ausencia del cuerpo, en la que los familiares viven una situación de constante dolor, además de problemas económicos<sup>4</sup>, jurídicos, profesionales y sociales (Blaauw et al., 2002). Al respecto, Betz y Thorngren (2006) traen a colación el caso de un niño desaparecido y explican la perenne incertidumbre en la que se hallan los padres, sin saber si el hijo regresará o culpabilizándose al considerarlo muerto.

Resulta evidente que tratar con familiares que están sufriendo una pérdida de este tipo representa una operación sumamente delicada y obliga a todo profesional a reflexionar sobre la cuestión, puesto que la respuesta del familiar al estrés determina el grado de impacto (Betz et al., 2006). Desde el punto de vista físico, los mismos pueden sufrir, entre otros, dolores de estómago y de cabeza crónicos, temblores en las manos, palpitaciones cardíacas, cansancio, trastornos del sueño y alimenticios, mareos; por lo que respecta la esfera afectiva: frustración, soledad, rabia, apatía, crisis emocionales, ansiedad; a nivel cognitivo: incredulidad, pérdida temporal de la memoria, dificultad de concentración; a nivel comportamental: culpabilización hacia sí mismo o los demás, intentos de suicidio, negación, comportamientos autodestructivos, hiperactividad o inactividad (García Ledesma et al., 2007; Quirk et al., 1994; Blaauw et al., 2002; Nolen-Hoeksema et al., 1999; Horowitz et al., 1997).

Por otro lado, los recuerdos traumáticos representan experiencias sensoriales compuestas sea por el material verbal como el «no verbal», tales como sonidos, imágenes u olores (Mladina, 2016). Mladina (2016) evidencia que se trata de recuerdos «muy bien conservados y resistentes a cualquier influencia potencialmente contaminante como el tiempo». Tratándose de «material no verbal», en algunas ocasiones resulta complicado intentar verbalizar dichos recuerdos.

3 La Convención Internacional para la Protección de todas las Personas contra las Desapariciones Forzadas señala que por ésta debe entenderse: «el arresto, la detención, el secuestro o cualquier otra forma de privación de la libertad que sean obra de agentes del Estado o por personas o grupos de personas que actúan con la autorización, el apoyo o la aquiescencia del Estado, seguida de la negativa a reconocer dicha privación de libertad o del ocultamiento de la suerte o el paradero de la persona desaparecida, sustrayéndola a la protección de la ley» (ONU, 2006).

4 Véase también la entrevista realizada a Morris Tidball-Binz (23/04/2010), «Personas desaparecidas: ayudar a los familiares a superar el dolor». En particular: «(...) la mayoría de las familias tienen las mismas prioridades: desean una respuesta sobre lo que le ha sucedido a su ser querido y desean recibir un apoyo económico en ausencia del jefe del hogar, ya que, en muchos casos, la persona desaparecida suele ser el hombre que ganaba el sustento para toda la familia».

## LAS NARRACIONES DE LOS FAMILIARES: LA NECESIDAD DE SISTEMATIZAR LA ENTREVISTA Y LA FICHA AM

Los familiares de personas desaparecidas representan una población vulnerable que exige una mayor atención y una fuente inestimable para los profesionales llamados a colaborar en un caso de desaparición forzada, puesto que pueden ofrecer primeramente, datos sociodemográficos, comportamentales y psicosociales sobre la víctima y, en un segundo lugar, una visión exclusiva de un fenómeno relacionado con un contexto socio-geográfico particular (violencia hacia determinadas víctimas, problemáticas sociales latentes, localización de fosas; etc.) que requiere más trabajos de investigación. La violencia es un fenómeno polisémico: su análisis y su decodificación conceden la posibilidad de adentrarse en una problemática social extremadamente compleja y enrevesada. Concretamente, se ofrece un ejemplo reciente acerca de la violencia en México. El juicio social y la puesta en acto de una condena como el corte de las manos en contra de ladrones o «rateros» en varios lugares del país<sup>5</sup> evidencia, entre otros factores, un contexto socio-geográfico de normalización de la violencia que brota y culmina con una mutilación y exposición pública, un castigo colectivo destinado a *espectacularizar* la tortura como práctica meramente ficticia de control social.

Sin embargo, la escasez bibliográfica y la falta de sistematicidad sobre la ficha de identificación, evidencia la urgente necesidad de echar luz sobre una etapa primaria del proceso de búsqueda de personas desaparecidas: la entrevista y la realización de la ficha de datos *antemortem*. Esta fase resulta determinante puesto que posibilita la creación de un vínculo intrínseco entre

experto y familiar que podría permitir la recopilación de testimonios y narraciones únicas, no sólo para la recreación de un pasado social, sino también para poder descifrar las causas y las condiciones en las que tuvo lugar la desaparición.

En el marco de la realización de la ficha de datos *antemortem* (AM), la colaboración con los familiares tiene como objetivo principal recopilar la mayor cantidad de información sobre una persona desaparecida sin llegar a una revictimización (segunda victimización o victimización secundaria), es decir «aquella que tiene lugar no como un resultado directo de la acción delictiva, sino como consecuencia de la respuesta y el trato dado por las instituciones, el entorno social y los medios de prensa [entre otros] que provocan un nuevo daño en la víctima» (Marchiori, 2004).

Por lo tanto, la entrevista *antemortem* representa una etapa de la labor forense crucial que, sin embargo, engloba problemáticas y posibles riesgos a no subestimar. Los familiares «se ven confrontados con la posibilidad de que la persona a la que están buscando no se halle con vida» (CICR, 2014), por lo que Tuller enfatiza la importancia de averiguar detalles sobre eventos traumáticos pasados así como información sólida acerca de la ubicación de una fosa, sin intimidar al testigo (Dirkmaat, 2015)<sup>6</sup>. Los familiares podrían sentir «rabia, grandes expectativas, miedo a equivocarse», culpabilidad, frustración o «vergüenza», podrían negarse «a participar», tendrían que afrontar la «incapacidad para recordar detalles» o el desacuerdo con otros familiares, en fin tendrían reacciones emocionales que se podrían transformar en un «obstáculo» (CICR, 2014; Mladina, 2016). Lo que hay que tener siempre en cuenta es que los mismos podrían estar afrontando sentimientos de frustración a causa de las respuestas *silenciosas* de las auto-

- 5 - «Asesinan a un ladrón en México y le cortan las manos siguiendo el consejo del candidato presidencial "El Bronco"» (25/04/2018): <http://www.notimerica.com/sociedad/noticia-asesinan-ladron-mexico-le-cortan-manos-siguiendo-consejo-candidato-presidencial-bronco-20180424223718.html>
- «Les cortan las manos a seis presuntos ladrones en Tlaquepaque» (17/10/2016): <https://www.proceso.com.mx/459097/les-cortan-las-manos-a-seis-presuntos-ladrones-en-tlaquepaque>
- «Jalisco: Les cortan manos por "rateros"; detienen a dos probables responsables» (18/10/2016): <https://aristeguinoticias.com/1810/mexico/jalisco-les-cortan-manos-por-rateros-detienen-a-dos-probables-responsables/>
- «Humillan a ladrón en Facebook. Vecinos de Ecatepec amarran y colocan un cartel a un supuesto asaltante, y lo exhiben en redes sociales.» (19/10/2016): <https://sipse.com/mexico/ladron-facebook-robo-asalto-ecatepec-estado-mexico-226814.html>
- «Intentan linchar a dos delincuentes en Ecatepec» (02/08/2016): <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/2016/08/02/1108606>
- 6 Particular referencia al octavo capítulo escrito por Hugh H. Tuller titulado «Mass Graves and Human Rights: Latest Developments, Methods, and Lessons Learned» (157-174).

ridades<sup>7</sup> o, por otro lado, sentir consuelo al ver que alguien reconoce su dolor.

Se podría afirmar que la realización de la entrevista no coincide necesariamente con la predisposición o la preparación de estos para afrontar un momento en el que tendrán que recordar al ser querido desaparecido, a momentos pasados o incluso particularmente íntimos. Por ende, es importante que los profesionales que realicen la entrevista tengan un comportamiento empático, transparente, comprensivo y calmado (Arreola, Contreras y Gómez del Campo, 2016), lo que no significa (en absoluto) llorar con ellos o confrontarlos (directa o indirectamente), sino ofrecerles una intervención clínica basada en la evidencia, respeto irrestricto al dolor propio y ajeno, sosiego y apoyo que incluya pautas conductuales específicas para esta población, gestionando y brindando técnicas y métodos clínicos que permitan aprender a reconocer la variación de su estado emotivo y físico, y al mismo tiempo asegurándoles que «sus reacciones y sentimientos son totalmente normales» (CICR, 2014), es decir comprensibles de cara al evento traumático que están afrontando. En fin, se debe crear un vínculo de confianza que conceda la posibilidad de recopilar informaciones útiles para el caso. La experiencia puede ayudar a los profesionales a realizar una entrevista con un comportamiento adecuado por el bien de estos entrevistados, aunque es recomendable, en conjunto con el antropólogo, la presencia de un psicólogo forense para poder facilitar asistencia psicológica y no causar más sufrimiento, una «segunda revictimización y re-traumatización» (Mladina, 2016). Se sugiere que la entrevista la realicen dos expertos (un antropólogo y un psicólogo, si necesario se pudiera incluir un criminólogo) para que uno tome las notas, mientras el otro conduce la misma.

Por otro lado, cabe señalar la trascendencia y la repercusión de un uso terminológico adecuado: el empleo de vocablos y expresiones científicas o técnicas obliga al profesional presente a brindar a los familiares una explicación de su significado de forma clara y simple. Esto permite que los mismos (al igual que los otros actores sociales) tengan acceso inmediato a un lenguaje ciertamente especializado, pero sin ningún tipo de discriminación. El apoyo constante y continuo por parte de los expertos representará entonces un soporte significativo para que los familiares no se sientan marginados.

Por otro lado, es necesario conocer el contexto sociocultural en el que se realizará la entrevista de la ficha de datos *antemortem*, las costumbres y los rituales relacionados. Si la ficha AM tendría que estar compuesta por partes ampliables y adaptables al contexto socio-geográfico de trabajo, esto supone que se utilicen vocablos de la zona interesada para definir, por ejemplo, la ropa. En efecto, son conocidas las diferencias léxicas (y fonéticas) regionales para indicar objetos o expresiones: lo que en España se denomina *falda*, en Argentina es *pollera*, lo cual para México (y según la definición del DRAE) es una «persona que transporta trabajadores indocumentados a los Estados Unidos», mientras que para Colombia es el «traje típico femenino de Panamá y de la costa norte de Colombia, que consta de una blusa y una falda de amplio vuelo, finamente bordadas». Las tradiciones y las costumbres relacionadas con la indumentaria son particularmente intrínsecas, así como la selección y el significado de los colores resulta, en algunas ocasiones, incluso subjetiva. Es deber del especialista presentar estas particularidades de forma nítida y sencilla, empleando por ejemplo ilustraciones o fotografías.

Dentro de este cuadro, los protocolos se transforman en una guía particularmente útil y eficaz para la organización de las entrevistas, pero también en un «manual» de recomendaciones acerca del comportamiento a adoptar frente a los entrevistados o en el momento en el que se entregan los resultados de un análisis. Siguiendo las recomendaciones propuestas por el Comité Internacional de la Cruz Roja en su guía *Los familiares de las personas desaparecidas* (2014), se traen a colación algunos pasos a tomar en cuenta a la hora de afrontar este momento:

- Se aconseja realizar entrevistas individuales para evitar posibles «divergencias» familiares o que uno de los entrevistados no exprese su parecer.
- No obstante, se pueden invitar «expertos forenses», psicólogos o «representantes de la comunidad, líderes religiosos» que acompañen a los familiares.
- Explicar los propósitos de la entrevista, la realización de una ficha de datos *antemortem* y los procedimientos siguientes.

7 Sobre todo, si el Estado es responsable de la desaparición (Baraybar et al., 2014).

- Dar aviso de que los resultados de una «recuperación e identificación pueden no corresponderse con sus esperanzas y expectativas».
- Disponibilidad a posibles preguntas, dudas o comentarios sea durante la entrevista o posteriormente.
- Proponer contactos con organizaciones/ asociaciones de familiares.
- Si la situación lo requiere, brindar asistencia inmediata ofreciendo pañuelos, «algo de beber» o llamando a un médico.
- Crear un ambiente cómodo y lo más relajante posible para el familiar y su testimonio.

No hay que olvidar que las experiencias de los familiares pueden transformarse en datos sumamente valiosos, aptos a integrar la información sobre el victimario, la víctima y la forma en la que murió (Kimmerle et al., 2008). En conclusión, es fundamental informar al familiar/los familiares sobre los procedimientos a seguir en cada etapa, así como los «riesgos jurídicos y de seguridad» (CICR, 2014). A tal propósito, resultaría particularmente útil ofrecer talleres, actividades o reuniones previas en las que los equipos técnicos, organismos de Derechos Humanos y Organizaciones No Gubernamentales (ONG) especializadas brinden conocimientos relacionados sobre sus derechos o etapas de la labor de búsqueda e identificación de los restos. Igualmente, se podrían presentar algunos resultados de investigaciones interdisciplinarias relacionadas con la violencia en un determinado contexto socio-geográfico para así proponer posibles recomendaciones y obtener cambios a medio-largo plazo.

Enmarcada en un discurso protocolario, la cualidad principal de la ficha de datos *antemortem* es devolver visibilidad a lo invisible, a lo que se intentó esconder y/o cancelar de alguna u otra forma. Las palabras de los familiares, sus recuerdos, las imágenes que de nuevo afloran transmiten mensajes, posibilitan la conversión de algo intangible en una secuencia histórica. Por consiguiente, no sorprende que algunos familiares prefieran llamar la ficha de datos *antemortem*, «ficha o cédula de vida».

Ciertamente, evitar la revictimización de los familiares exige una preparación lo más sistemática y organizada posible. Por lo que ha de calcularse previa y meticulosamente la presencia de los entrevistadores, la duración o el lugar de la entrevista. Una mayor coincidencia entre los datos *antemortem* y *postmortem* favorecerá un aumento de la probabilidad de identificación, por ende, antes de empezar la entrevista, el profesional encargado de buscar a los familiares deberá saber qué información necesita conseguir y cuáles documentos solicitar. Por consiguiente, a partir de un enfoque puramente interdisciplinario, la ficha de datos *antemortem* se transforma en una «herramienta de sistematización»<sup>8</sup> que debe favorecer un «intercambio abierto» entre profesionales y familiares.

## HACIA UNA ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA CON FAMILIARES DE PERSONAS DESAPARECIDAS

Los procesos de victimización pueden incluir entre sus consecuencias clínicas principalmente alteraciones relacionadas con el estado de ánimo (tipo depresión) y con el estrés, especialmente estrés postraumático, estrés postraumático complejo y duelo prolongado (tipo estrés postraumático), aunque no debe descartarse la concurrencia de estos y otros trastornos (tales como los de personalidad y el consumo de sustancias tóxicas). Asimismo, debe tomarse en consideración lo que la «Guía para el Diagnóstico Clínico» (Morrison, 2015) incluye en el capítulo 29 como «Otros factores que pudieran requerir atención clínica», esto es, aquellos «comportamientos, enfermedades y relaciones que no constituyen trastornos mentales» (p.589), pero que requieren un abordaje terapéutico. que la Organización Mundial de la Salud, a través de la CIE-11, ha denominado «códigos Q», por ejemplo: “QE61 Desaparición o muerte de un miembro de la familia”, que corresponde a “Problemas asociados con la ausencia, la pérdida o la muerte de otra persona”.

8 Reflexiones que surgieron durante un intercambio de correos con la Dra. Celeste Perosino. La Dra. Perosino es antropóloga forense, trabajó en el Equipo Argentino de Antropología Forense y estuvo a cargo de la subgerencia de Derechos Humanos del Banco Central de la República Argentina (BCRA). Es cofundadora de Acciones Coordinadas Contra la Trata (ACCT), organización que se transformó en Colectiva de Intervención Ante la Violencia (CIAV).

Los códigos Q, se encuentran en el apartado 24 de la citada CIE -Clasificación Internacional de Enfermedades, por sus siglas en español- y representan aquellos “factores que influyen en el estado de salud o el contacto con los servicios de salud”. Este apartado, también incluye: “QE80 Víctima de un crimen o acto de terrorismo”; “QE81 Exposición a desastre, guerra u otras hostilidades.”

Como puede apreciarse, los códigos Q, no son trastornos, sino factores, que sirven para comprender las alteraciones que una persona podría presentar en estos casos.

El párrafo anterior permite observar un panorama de alta complejidad para la entrevista a familiares de personas desaparecidas. Ahora bien, quienes realicen estas intervenciones profesionales, deben recordar siempre que se encuentran ante personas en pleno proceso de sufrimiento y daño, con lo cual, habrán de evitar la psicopatologización del dolor humano. Es decir, resulta absolutamente comprensible que los familiares de personas desaparecidas pudieran presentar alteraciones conductuales, cognitivas y emocionales, ya que la fuente principal de dichas alteraciones (el cerebro) también estaría presentando graves anomalías que dificultan su funcionamiento saludable. Por mencionar superficialmente una posibilidad, el Trastorno de Estrés Postraumático y el Trastorno de Estrés Postraumático Complejo (6B41) (muy presente en los procesos de victimización) ha mostrado el impacto que produce en el encéfalo y por lo tanto en la salud mental de quien lo padece (Fenster, Lebois, Ressler y Suh, 2018; Lupien, Juster, Raymond y Marin, 2018; Meng, Chen, Xu et al., 2018). Así, una de las primeras máximas que debe recordar quien pretenda realizar entrevistas con familiares de personas desaparecidas es la de no vulnerar ni por asomo la dignidad de una persona en franco proceso de dolor, en estado de vulnerabilidad y acaso desconcierto, desesperanza y desconfianza. Estas características -se reitera- pueden ser comprensibles a la luz del sufrimiento que implica la búsqueda sin fin de un ser amado.

Uno de los documentos del Comité Internacional de la Cruz Roja, llamado «Acompañar a los familiares de las personas desaparecidas. Guía práctica» incluye una «Ficha informativa: aptitudes comunicativas básicas» y en ella sugiere:

## COMUNICACIÓN NO VERBAL

- Colóquese frente a su interlocutor.
- Adopte una postura abierta y, sobre todo, evite cruzarse de brazos.
- Mantenga una distancia apropiada, conforme a las normas socioculturales imperantes: la proximidad denota interés, pero también puede intimidar o resultar excesivamente informal o apabullante.
- Mire a los ojos de su interlocutor con frecuencia, aunque sin fijar excesivamente la mirada y, ante todo, tenga en cuenta la práctica cultural a este respecto.
- Muestre una actitud tranquila y relajada.

## ESCUCHAR Y PREGUNTAR

- Trate primero de entender antes de ser entendido.
- Concéntrese en lo que le están diciendo.
- Muestre su interés mediante gestos no verbales (por ejemplo, asintiendo).
- Trate de leer entre líneas para intuir lo que siente y piensa su interlocutor.
- Sea consciente de sus propios prejuicios o valores, ya que pueden distorsionar lo que escucha.
- No ensaye mentalmente sus respuestas mientras la otra persona esté hablando.
- No interrumpa, especialmente para corregir errores o hacer comentarios.
- No dirija la conversación de manera exagerada ni contradiga innecesariamente a su interlocutor.
- Reflexione antes de contestar.
- Haga preguntas o afirmaciones aclaratorias para confirmar sus impresiones.
- Evite expresiones de aprobación o desaprobación, límitese a señalar que entiende lo que le dicen.
- No insista en tener la última palabra.
- Formule preguntas abiertas para que los interlocutores se expresen a su manera.
- Cuando proceda, solicite detalles adicionales, ejemplos e impresiones.

## FORMULACIÓN DE COMENTARIOS E IMPRESIONES

- Asegúrese de que la persona está lista para aceptar sus comentarios.
- Hable en un tono sosegado, sin levantar la voz.

- Describa en lugar de interpretar.
- Anime a su interlocutor siempre que sea posible para suscitar una reacción constructiva. Trate de hacer comentarios, como: “Es muy útil saber esto” o “Me gustaría que me diera más información al respecto”.

Las narraciones devuelven memorias e imágenes de vida, los recuerdos moldean un pasado a veces muy lejano, mientras que las dudas plantean posibles indicios de desaparición y/o muerte. El afán de hablar e invocar a un hijo o a una esposa desaparecidos acarrea la necesidad de recopilar datos antemortem, pero también la importancia de entender un contexto socio-histórico-geográfico y cognitivo-emocional particular. De aquí la necesidad de un antropólogo y un psicólogo a lo largo del proceso de recopila-

ción de datos AM. Enmarcado en este discurso, México representa un ejemplo desafortunada y totalmente actual: la violencia extrema en este país obliga a los investigadores y profesionales a dedicar una parte significativa de sus esfuerzos a decodificar comportamientos y reacciones de las víctimas, los agresores y la sociedad para mejor entender los testimonios recopilados y el panorama social. Así será posible brindar recomendaciones realmente prácticas y beneficiosas para los mismos familiares (de particular manera si tienen otros hijos), testimonios y asociaciones de familiares. Finalmente, el esfuerzo conjunto de expertos interdisciplinarios debe encauzar en soluciones y mejoras, para que este círculo transitorio de «muertes invisibles» produzca cambios verdaderamente reales.

## REFERENCIAS CITADAS

- Arreola, C.G., Contreras, M.G. & Gómez del Campo, M.I. (2016). Efectos de la intervención logoterapéutica con padres de hijos desaparecidos. El caso de San Miguel Totolapan (México). *Anfora*, 23 (40), 99-120.
- Baraybar JP, Blackwell R. 2014. Where are they? Missing, Forensics, and Memory. *Annals of Anthropological Practice*. Special Issue: Practicing Forensic Anthropology: A Human Rights Approach to the Global Problem of Missing and Unidentified Persons. 38(1). May 2014: 22-42.
- Betz G, Thorngren JM. 2006. Ambiguous Loss and the Family Grieving Process. *The Family Journal*. (14)4: 359-365.
- Blanco, A., Díaz, D. & García, A. (2006). Recovering the context in posttraumatic stress disorder: The psychosocial trauma in victims of political violence and terrorism. *Estudios de Psicología* 27, 333-350.
- Blair Trujillo E. 2005. Muertes violentas. La teatralización del exceso. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Boss P. 1999. *Ambiguous Loss. Learning to live with unresolved grief*. Cambridge. Massachusetts/London. England: Harvard University Press.
- Boss P. 2006. *Loss, Trauma and Resilience. Therapeutic Work with Ambiguous Loss*. New York: W.W. Norton & Company.
- Blauw M. Lähteenmäki V. 2002. “Negación o silencio” o “reconocimiento y revelación de la información”. *Revista Internacional de la Cruz Roja*. Disponible en: <https://www.icrc.org/spa/resources/documents/misc/Sted5u.htm>
- Castillo Vergara MI. 2013. El (im)posible proceso de duelo. Familiares de detenidos desaparecidos: violencia política, trauma y memoria. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Alberto Hurtado.
- Comité Internacional de la Cruz Roja. 2014. *Acompañar a los familiares de las personas desaparecidas. Guía práctica*. Ginebra, Suiza: CICR.
- Dirkmaat DC. ed. 2015. *A Companion to Forensic Anthropology*, Wiley Blackwell.
- Fenster, R.J., Lebois, L.A.M., Ressler, K.J. & Suh, J. (2018). Brain circuit dysfunction in post-traumatic stress disorder: from mouse to man. *Nature Reviews Neuroscience* 19, 535-551.
- García Ledesma RI. Suárez Castillo M. 2007. La pérdida ambigua: una prolongada aflicción de la familia. *Psicología y Ciencia Social*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 9(2): 32-41.
- Giambetti A. 2013. *Ricœur nel labirinto personalista*. Milano: FrancoAngeli.
- Heeke, C., Stammel, N. & Knaevelsrud, C. (2015). When hope and grief intersect: rates and risks of prolonged grief

- disorder among bereaved individuals and relatives of disappeared persons in Colombia. *Journal of affective disorders*, 173, 59-64.
- Hofmeister U. Martin SS. Villalobos C. Padilla J. Finegan O. 2017. The ICRC AM/PM Database: Challenges in forensic data management in the humanitarian sphere. *Forensic Science International*. 279 (2017): 1-7.
- Horowitz MJ. Siegel B. Holen A. Bonanno GA. Milbrath C. Stinson CH. 1997. Diagnostic Criteria for Complicated Grief Disorder. *Am J Psychiatry*. 154(7): 904-910. July 1997.
- Jankélévitch V. 2009. *La Muerte*. Valencia: Pre-Textos.
- Kimmerle EH. Baraybar JP. 2008. *Skeletal Trauma. Identification of injuries resulting from human rights abuse and armed conflict*. Boca Ratón, Florida: CRC Press. Taylor&Francis Group.
- Lenferink LIM (a), van Denderen MY, de Keijser J, Wessel I, Boelen PA. 2017. Prolonged grief and post-traumatic stress among relatives of missing persons and homicidally bereaved individuals: A comparative study. *Journal of Affective Disorders*. 209: 1-2.
- Lenferink LIM (b), de Keijser J, Wessel I, de Vries D, Boelen PA. 2017. Toward a Better Understanding of Psychological Symptoms in People Confronted With the Disappearance of a Loved One: A Systematic Review. *Trauma, Violence, & Abuse: 1-16*.
- Lupien, S.J., Juster, R.P., Raymond, C. & Marin, M.F. (2018). The effects of chronic stress on the human brain: From neurotoxicity, to vulnerability, to opportunity. *Frontiers in Neuroendocrinology* 49, 91-105.
- Marchiori H. 2004. *Victimología. La Víctima desde una Perspectiva Criminológica. Asistencia Victimológica*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Meng, L., Chen, Y., Xu, X., Chen, T., Lui, S., Huang, X., Sweeney, J.A., Li, K. & Gong, Q. (2018). The neurobiology of brain recovery from traumatic stress: A longitudinal DTI study. *Journal of Affective Disorders* 225, 577-584.
- Mladina V. *Psychosocial Aspects of Interviewing and Self-Care for Practitioners*. Congram D. ed. 2016. *Missing Persons. Multidisciplinary Perspectives on the Disappeared*. Toronto: Canadian Scholars' Press. 171-183
- Morrison. J. (2015). *DSM-5 Guía para el diagnóstico clínico*. México: Manual Moderno.
- Nolen-Hoeksema S. Larson J. 1999. *Coping with loss*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- ONU (2006). *Convención Internacional para la Protección de Todas las Personas Contra las Desapariciones Forzadas*. [Versión electrónica]. Disponible en: <https://www.ohchr.org/SP/ProfessionalInterest/Pages/ConventionCED.aspx>
- Quirk. GJ. Casco L. 1994. Stress disorders of families of the disappeared: a controlled study in Honduras. *Soc. Sci. Med. Elsevier Science*. 39(12): 1675-1679.
- Robledo Silvestre C. 2017. *Drama social y política del duelo. Las desapariciones de la guerra contra las drogas en Tijuana*. Ciudad de México: El Colegio de México.
- Rycroft P. Perlesz A. 2001. Speaking the unspeakable: Reclaiming grief and loss in family life. *The Australian and New Zealand Journal of Family Therapy*. 22(2): 57-65.
- Thomas LV. 2015. *Antropología de la Muerte*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.

## Otras Formas de Desaparición: La Experiencia en la Fosa Común del Panteón de Palo Verde, Xalapa, Veracruz

Roxana Enríquez Farias<sup>1</sup>

Diana Bustos Ríos<sup>2</sup>

Omar Arad Pérez Guzmán<sup>3</sup>

Palabras clave: forense, antropología, desaparición, identificación, México.

### RESUMEN

La desaparición de personas en México forma parte de la crisis de violencia vivida en el país desde hace más de 10 años. Es un fenómeno que involucra diversos delitos, y requiere de una investigación amplia apoyada por diversas ciencias forenses que contribuya a la localización de personas desaparecidas y la identificación humana, así como de una colaboración interinstitucional.

Desde esta perspectiva, el Equipo Mexicano de Antropología Forense propone un Modelo Integral de Investigación Forense para la Identificación Humana (MIIF ID) que busca construir puentes de entendimiento entre disciplinas a favor de una investigación forense con solidez científica y proponer formas de cooperación institucional.

---

1 EMAF/Estudiante de doctorado. Posgrado de Antropología física, ENAH.

2 EMAF/ Estudiante de doctorado. Posgrado de Antropología, UNAM.

3 EMAF.



## ABSTRACT

The disappearance of persons in Mexico form part of the crisis of violence experienced in the country since more than 10 years ago. This phenomenon involves various crimes and requires an extensive research, supported by several forensic sciences that contribute to the location of missing persons and human identification, as well as an inter-agency collaboration.

From the EMAF we propose an Integral Model of Forensic Investigation in Human Identification (miif id) that seeks to build bridges of understanding between different disciplines to improve the forensic investigation with scientific soundness, at the same time, propose forms of institutional cooperation.

## INTRODUCCIÓN

Los antropólogos se distinguen por explicar la complejidad del ser humano partiendo de la cultura en combinación con otros ámbitos de la existencia: biológico, psicológico, social y ecológico; a través del tiempo y en distintos espacios.

Quizá esta perspectiva es una de las razones por las que la antropología en su aplicación forense alcanza un nivel de colaboración capaz de traspasar las barreras de lo teórico-metodológico para aportar nuevos elementos en las investigaciones judiciales y así colaborar en el avance de la investigación para abrir paso a otras metodologías y contribuir a revelar fenómenos sociales más complejos.

La crisis de violencia en México desde hace más de diez años fue definitivamente el incentivo para la participación de la antropología en el ámbito forense. Hasta hace unas décadas este campo estaba ligado a la antropología física y se ceñía en gran medida a la aplicación de métodos osteológicos para la identificación humana. El resto de las disciplinas antropológicas veían su participación un tanto lejana, pues el contexto aún no dilucidaba la manera en que se podría actuar.

El fenómeno de la violencia creció y diversificó sus formas. Así, se hizo necesaria la participación de varias áreas del conocimiento en las investigaciones criminales; además se suman los cambios en el sistema de justicia penal, los cuales demandaron de un momento a otro una estructura de investigación científica que estaba muy lejos de cumplirse por parte de las instituciones, pues sus recursos humanos, materiales y de conocimiento, eran limitados. Este escenario fue propicio para comenzar a construir un camino de colaboración y la participación de la antropología forense que desde su objeto de estudio pudiera empezar a tejer los puentes de

comunicación y aportar formas de resolución al grave problema.

El caso que se presenta en este capítulo es un ejemplo de la aplicación de los métodos de la antropología forense en la búsqueda de una persona desaparecida, de las posibilidades de participación de la disciplina partiendo de una perspectiva integral de la misma y de las formas y mecanismos existentes a través de los cuales, los profesionales independientes coadyuvan en las investigaciones de desaparición de personas y otras problemáticas.

En junio de 2016 se recibió la petición de participar como peritos independientes en una exhumación que se realizaría en la fosa común del panteón municipal de Palo Verde en Xalapa, estado de Veracruz (EMAF, 2016a y b). Para el equipo representó más allá de una participación jurídica, una petición de apoyo en momentos de incertidumbre, de incredulidad y de desconcierto; significó representar ante las autoridades los intereses de los familiares de las víctimas y utilizar el conocimiento aprendido desde la plataforma académica para dar soluciones a un problema. La intervención para localizar los restos de Gemma Mavil quien fue víctima de secuestro, fue una experiencia a través de la cual se formuló el modelo de trabajo denominado *Modelo Integral de Investigación Forense para la Identificación Humana*, con el objetivo de crear estrategias y vías de solución a los muchos casos de personas desaparecidas y otras investigaciones que se encuentran estancadas, debido a que los encargados de coordinar las acciones no logran definir los requerimientos de cada disciplina forense. Asimismo, se comprendieron los problemas ante la falta de investigación y otros nuevos por abordar, como lo es el manejo de las fosas comunes.

Comenzamos este capítulo perfilando el problema de la desaparición de personas en México y el reto que representa para las auto-

ridades, profesionales y sociedad civil, pues los números que se conocen hasta ahora obligan a repensar las metodologías y formas de trabajo. En ese sentido, se comparte la propuesta de un modelo de trabajo desarrollado y puesto en práctica en diferentes contextos. En la tercera parte, se plasma la experiencia de la intervención en la búsqueda de los restos de Gemma Mavil, detallando el proceso administrativo y los fundamentos legales en cada una de las acciones, pues el peritaje independiente es una experiencia reciente en México y aunque se encuentra debidamente reglamentado, la formación académica de un antropólogo físico y/o un arqueólogo no está orientada al desempeño en el campo legal. Finalmente, se aborda con detalle la problemática del manejo de las fosas comunes como uno de los principales aprendizajes, y cuya experiencia permitió *a posteriori* construir propuestas en otras intervenciones.

## LA INVESTIGACIÓN DE PERSONAS DESAPARECIDAS

La desaparición de una persona es una de las investigaciones forenses más complejas, ya que puede estar relacionada con varias circunstancias la mayoría de ellas de tipo criminal, por lo que en el curso de la investigación es posible encontrarse con la comisión de uno o varios delitos. Lograr la localización de una persona que ha sido declarada desaparecida requiere de un trabajo multidisciplinario e interinstitucional; con un diseño estratégico de investigación donde se tenga la participación de varios actores quienes aportan información y datos relevantes para la localización.

En México existen miles de personas buscando a un familiar desaparecido, este fenómeno se suscita desde hace más de 40 años y desde 2010 se acrecentó considerablemente alcanzando cifras alarmantes, tan sólo al 30 de abril de 2018 el Registro Nacional de Personas Desaparecidas (RNPED) contenía 37 mil 435 reportes (Registran más de 37 mil desaparecidos en México. 2018, 10 de septiembre). Este registro no informa las circunstancias bajo las cuales ocurrieron dichas desapariciones, si bien esto debe estar señalado en las averiguaciones previas o carpetas de investigación; en las estadísticas no se tiene

claridad acerca de los delitos que pueden estar relacionados con la desaparición de personas, salvo los que desde un inicio han sido acreditados como desaparición forzada por contar con elementos suficientes que prueban dichos actos.

## La desaparición de personas en México

La intersección de varios delitos y circunstancias complejiza la búsqueda de las personas desaparecidas, pues la investigación ministerial es la que debe apuntar los posibles lugares donde podemos hallar las pistas necesarias para dar con su paradero. Sin embargo, esto ocurre en excepcionales casos, por ejemplo, cuando la búsqueda se inicia de inmediato, lo que implica buscar a la persona con vida; cuando los familiares, amigos y allegados conducen la búsqueda con un amplio acompañamiento de medios masivos de comunicación, organizaciones sociales y distintas instancias de gobierno o bien, cuando por distintos medios, los familiares han obtenido información verídica, incluso muchas veces de cómplices o personas relacionadas con quienes cometen la desaparición. Sucede al contrario cuando la búsqueda de las personas comienza pasado algún tiempo, incluso semanas, las posibilidades de encontrarlo con vida disminuyen día con día. Así, la investigación no solo requiere de una dirección adecuada, sino de la cooperación de diferentes instituciones de los distintos órdenes de gobierno, la información de diversas fuentes (familiares, amigos, empresas, dependencias de salud, seguridad) y metodologías diversas (del campo forense y policial).

En el marco de esta complejidad en las tareas de búsqueda en México ocurre un fenómeno paralelo a la desaparición. A raíz de la implementación de la estrategia de seguridad nacional conocida como “guerra contra el narcotráfico” la violencia en México alcanzó niveles inusitados, acrecentando un problema en el que por años no se puso atención alguna: las fosas comunes<sup>4</sup>.

En primer término, la cantidad de homicidios aumentó exponencialmente. Hasta octubre de 2017 se tienen cuantificados 234 mil 996 homicidios dolosos (Hernández, M., 2017), esto colocó a las procuradurías o fiscalías y a los servicios periciales, en una dinámica de trabajo

4 Se denomina *fosa común* al espacio destinado en un cementerio (generalmente municipal) donde son sepultadas las personas que han fallecido en circunstancias violentas o que fueron llevadas al Servicio Médico Forense y que no fueron identificadas; o bien, se conoce su identidad pero nadie reclamó su cuerpo.

exigente con un gran número de investigaciones por atender y un exponencial número de personas fallecidas por identificar. Hoy, a diez años de comenzada esta vorágine de violencia, nos encontramos ante 35 mil personas que no han sido identificadas y que se encuentran principalmente en los Servicios Médicos Forenses (semefos) o probablemente en las fosas comunes.

Más aún, del primero de diciembre de 2006 a junio de 2017 fueron encontradas 1,588 fosas clandestinas ubicadas en 23 estados del país. Con un total aproximado de 2,674 cuerpos y cerca de 11,429 restos o fragmentos óseos de los que se desconoce información que ayude a su identificación (García Rodríguez y Keller, 2019). Estos espacios de enterramiento clandestino de cuerpos fueron intervenidos por las propias instituciones estatales o federales; los cuerpos hallados de las *Personas Fallecidas no Identificadas* (PFNI)<sup>5</sup> se llevaron a los diferentes Servicios Médicos Forenses para su identificación, un procedimiento que exige el seguimiento de protocolos estrictos por especialistas forenses (peritos), quienes realizan los análisis correspondientes para establecer la causa de muerte, encontrar evidencias que conduzcan al esclarecimiento de los hechos y establecer la identidad biológica. Esto desencadenó una saturación en los Servicios Médicos Forenses, pues rebasó sus capacidades de análisis y de resguardo en la mayoría de los Estados. En consecuencia, fueron enviados a las fosas comunes muchas de las personas que no fueron identificadas o reclamadas por sus familiares.

La situación evidenció un nuevo problema, el manejo de los cuerpos de las PFNI o no reclamadas, no se conduce de acuerdo con los protocolos y normativa vigente en todos los Estados, generando resultados deficientes. Por ejemplo, la falta de registros confiables para hacer el cotejo de información; la poca colaboración y comunicación entre Estados, instancias y dependencias; y la falta de registro durante el manejo de los cuerpos de las pfni que permitan su recuperación. Todo ello redundó en un número reducido de identificaciones positivas.

No obstante, en el marco del sistema penal acusatorio se desarrollaron dos protocolos íntimamente relacionados: el *Protocolo para el Tratamiento e Identificación Forense* y el *Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas*

*Desaparecidas y la Investigación del Delito de Desaparición Forzada*; ambos señalan las formas y procedimientos a los que están obligadas las instancias involucradas en el manejo de los cuerpos, en ello se menciona que los cadáveres deben ser considerados en su condición de evidencias y por tanto, es importante que haya una lógica de interacción entre los diferentes actores institucionales que intervienen: Agentes del Ministerio Público, Servicios Periciales, Servicios Médicos Forenses, y por supuesto, los Servicios Municipales de Panteones.

Las alternativas de manejo óptimo dependen en gran medida del análisis de las acciones que se desempeñan desde el levantamiento del cuerpo hasta su inhumación en la fosa común. Es importante identificar las atribuciones de cada actor y las responsabilidades a que está sujeto dentro de este proceso. El 12 de febrero de 2015, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo A/009/15, primer documento que habla de la cadena de custodia y el registro que deberá llevarse. Este instrumento permite que los servicios periciales de los Estados mejoren sus procedimientos acerca de la trazabilidad de las evidencias; dicho acuerdo fue la antesala para la entrada en vigor del nuevo Código Nacional de Procedimientos Penales (CNPP, artículos 228 y 229) a partir del 2016, enmarcado en el nuevo Sistema de Justicia Acusatorio, donde las evidencias son el eje rector de todo el procedimiento, motivo por el cual debe existir un registro fiel de su manejo.

La cadena de custodia del cadáver, es decir el “sistema de control y registro que se aplica al indicio, evidencia, objeto, instrumento o producto del hecho delictivo” (art. 227 del CNPP); resulta vital, pues el mismo cadáver es potencialmente un medio o elemento de prueba, ya que constituye una “fuente de información que permite reconstruir los hechos” (Art. 261 del CNPP). El CNPP indica que la cadena de custodia aplicará “hasta que la autoridad competente ordene su conclusión” (art. 227). El artículo 228 indica que la alteración de los indicios no hace que pierdan su valor probatorio a menos que indique lo contrario la autoridad competente. En el caso de los cadáveres, éstos cambian su composición física a lo largo del tiempo debido al proceso natural de descomposición. Sin embargo, esto no constituye una razón para que

5 Se determinó el uso de este término a partir de la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas, promulgada del 17 de noviembre de 2017.

pierdan su eficacia para acreditar un delito, por lo que el Ministerio Público está obligado, como con cualquier otro indicio, a ordenar las diligencias que considere necesarias para impedir que se pierda o destruya (art. 131, fracción IV del CNPP). Entre éstas se encuentra la inhumación de los restos.

A pesar de la normativa y los protocolos de actuación vigentes, hoy en día existe un cuantioso número de cuerpos no identificados inhumados en las fosas comunes, de los que no se tiene un registro confiable de información biométrica y social que permita restituirles la identidad y que fueron inhumados sin un registro preciso de ubicación que permita su localización posterior (figura 1). Esto ha quedado documentado en diversas intervenciones como en el caso de las fosas comunes de Tetelcingo y Jojutla en Morelos, donde se hallaron 117 cuerpos sin un registro adecuado y sin un trato digno (Cantú Martínez, 2016), convirtiendo el espacio de la fosa común en un espacio de clandestinidad, y desapareciendo de nueva cuenta a las personas que ya se encuentran en calidad de desaparecidas, lo que se ha llamado muchas veces como “desaparición administrativa” o “desaparecer dos veces”.

Sin duda, la problemática aquí planteada representa una crisis humanitaria y la mayor crisis de violencia vivida en el país, lo que significa un enorme reto para las autoridades encargadas de la búsqueda de personas y la resolución de los delitos como la desaparición forzada, al mismo tiempo, es una responsabilidad social para quienes desarrollan la investigación forense de manera independiente o bajo el cobijo de las instituciones de educación e investigación (figura 2).

### La búsqueda de los desaparecidos: esfuerzos institucionales y sociedad civil

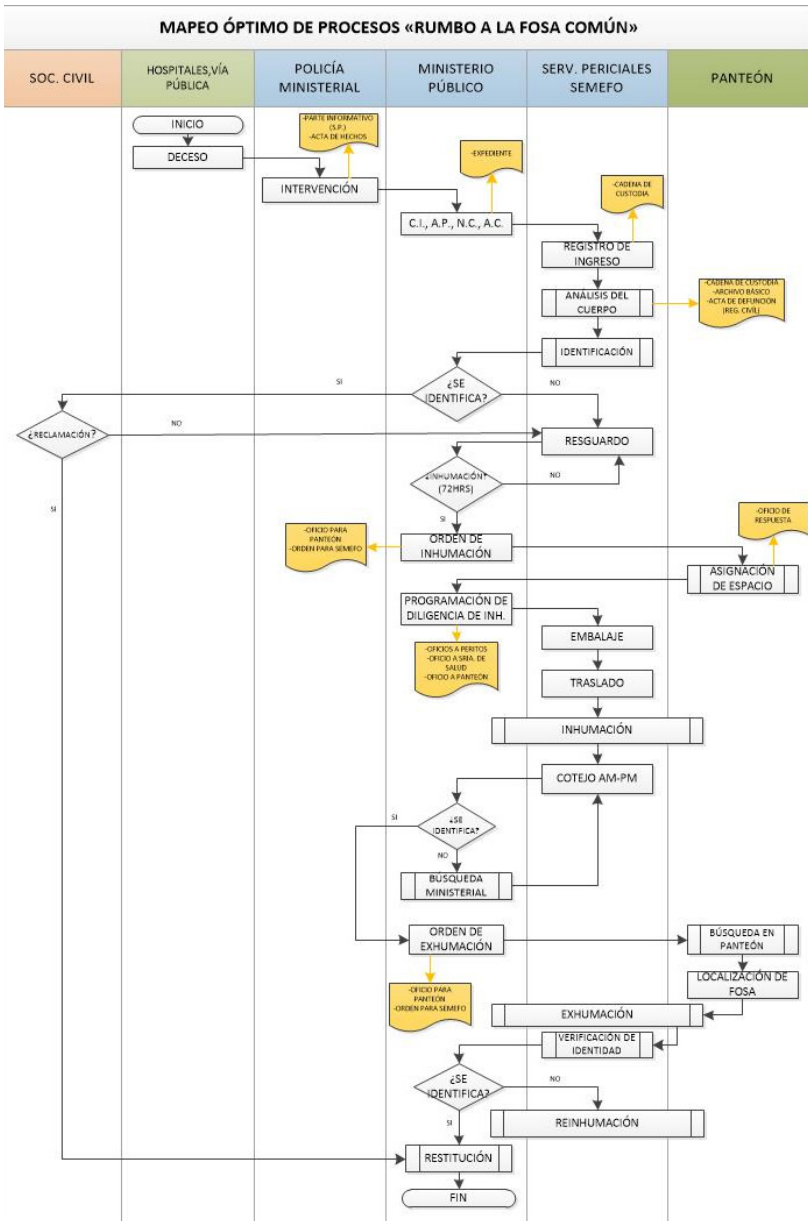
En buena medida, en los últimos diez años el interés de las instancias encargadas de mejorar los procedimientos e investigaciones estuvo motivado por las observaciones de organismos internacionales como la ONU y la CIDH, a partir de los deficientes resultados de investigación en casos de desaparición de forzada y otros delitos (Aristegui Noticias, 2015).

Por ejemplo, se recuerda la sentencia de la Corte Interamericana de los Derechos Humanos en el Caso Radilla Pacheco Vs. México emitida

el 23 de noviembre de 2009, donde quedan señaladas diversas omisiones e insuficiencias en la investigación de la detención y desaparición de Sr. Radilla Pacheco el 25 de agosto de 1974; sin embargo, uno de los más grandes logros de esta sentencia -que tuvo una favorable repercusión en el curso de la investigación de este delito- es el ordenamiento de la Corte al Estado mexicano para que reformule el tipo penal establecido en el Código Penal Federal mexicano hasta 2001, donde se establecía el delito de desaparición forzada cuando este acto era ejecutado por algún servidor público, librándolo de la responsabilidad si éste no era el autor material del hecho. Por lo tanto, la sentencia dicta que la tipificación debe ampliarse y seguir los lineamientos de la Convención Interamericana sobre Desaparición Forzada de Personas (CIDFP) y considerar que se comete el delito de desaparición forzada cuando es un acto cometido, ordenado, autorizado u omitido por agentes del Estado y que deben sancionarse a los responsables y cómplices del hecho.

Otra sentencia emblemática es la emitida por la CIDH en el Caso González y otras (“Campo Algodonero”) Vs. México del 16 de noviembre de 2009, que refiere el asesinato de ocho mujeres, seis de ellas localizadas el 6 y 7 de noviembre de 2001 en un lote baldío conocido como Campo Algodonero. Entre varios señalamientos, se precisaron las omisiones en la investigación, fallas en el manejo de pruebas, falta de personal calificado y un deficiente sistema de justicia. El principal eje de discusión fue la falta de políticas públicas para la erradicación de la violencia contra las mujeres, así como la falta de sensibilización en lo referente a la perspectiva de género. Sin embargo, durante el debate quedó evidenciada la falta de protocolos estandarizados, el mal manejo de las evidencias y la falta de especialistas en diversas materias forenses que respaldaran los resultados emitidos por el Estado, tanto en su versión de los hechos como en la identificación de las víctimas. De esta manera, en las recomendaciones emitidas en esta sentencia, se dictó que debían estandarizar protocolos, manuales, servicios periciales y de impartición de justicia, con la normativa internacional, para los casos de desapariciones, violencia sexual y muertes de mujeres (Caso González y otras (“Campo Algodonero”) vs. México, 2009).

Las recomendaciones hechas al Estado mexicano en estas dos sentencias marcaron un curso importante en las investigaciones de desa-



**Figura 1.** Diagrama de flujo del manejo óptimo de una persona fallecida no identificada

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.** Ejemplo de una fosa común en tierra e individualizada

*Fuente: Elaboración propia.*

parición forzada, pues las instituciones quedaron obligadas a emitir los informes que dieran cuenta de sus acciones para cumplir las recomendaciones; en este curso comenzó una vigilancia por parte de organizaciones civiles, tanto de víctimas como defensoras de derechos humanos, por lo que el tema de los procedimientos de investigación y competencias institucionales fue cada vez más abierto y observado por la sociedad.

Otro hito importante, en este contexto, es la desaparición de los 43 estudiantes de Ayotzinaapa ocurrida la noche del 26 de septiembre de 2014, de ello, hemos de destacar la movilización de la sociedad civil que se generó a partir de este evento y el carácter desde entonces arraigado en los familiares de personas desaparecidas. Este acontecimiento motivó a muchas personas a romper la barrera del miedo y denunciar públicamente que también enfrentaban la pérdida de un familiar; los motivos eran diversos, algunos habían sido desaparecidos por agentes del Estado, otros secuestrados o desaparecidos a manos del crimen organizado. En todo el país las voces para conformar diferentes organizaciones,

colectivos, asambleas, grupos, toda forma de congregación, de familiares de personas desaparecidas. Todos con la demanda de encontrar a sus seres queridos, reclamando respuestas del Estado mexicano, pero con una nueva exigencia: el apoyo de expertos (profesionales y científicos) en sus actividades de búsqueda, corroboraran los resultados de las instituciones y revisarían los procedimientos llevados a cabo que estaban lejos de darles el resultado esperado.

Esta demanda coloca a las disciplinas científicas ante la necesidad de replantearse sus objetivos, alcances, metodologías y estrategias de investigación; pues no sólo se trata de dar respuesta a una sola pregunta, de resolver investigaciones individuales, mejorar procedimientos o diseñar nuevas metodologías, existe también el importante reto de llevar el conocimiento científico a una plataforma jurídica. Por lo tanto, las dimensiones del fenómeno exigen una estrategia que contribuya a la mejora estructural de las instituciones, el entendimiento del problema de la desaparición como un fenómeno social y el diálogo con la sociedad civil.

## MODELO INTEGRAL DE INVESTIGACIÓN FORENSE PARA LA IDENTIFICACIÓN HUMANA

La única solución posible para las personas que tienen a un familiar desaparecido es que ellos regresen a casa (en cualquier circunstancia). Desafortunadamente en la mayoría de los casos la información apunta a que éstos aparecerán sin vida o bien, no existe información suficiente que conduzca a su localización. La demanda hacia las diferentes ciencias forenses es la creación de metodologías o el empleo de tecnología que permita cerrar el ciclo de incertidumbre por la desaparición. Sin embargo, la complejidad de la investigación y de las circunstancias institucionales requiere ir más allá del sólo uso de tecnología para la búsqueda de una persona desaparecida. A partir de las experiencias de intervención en diferentes investigaciones, se realizó un diagnóstico orientado a conocer dónde se encuentran las deficiencias principales que impiden el avance de las investigaciones, cuáles son las necesidades metodológicas y lo más importante, qué es lo que puede aportar la antropología forense.

Así, desde la perspectiva y experiencia del EMAF construimos el Modelo Integral de Investigación Forense para la Identificación Humana (MIIF ID), se trata de un esquema metodológico para la identificación de PFNI, inspirado en el concepto amplio de ciencia antropológica, donde la investigación testimonial y documental orientan la investigación en campo, misma que a su vez constituye el punto de partida para las acciones específicas de evaluación y cotejo de rasgos biológicos variables (sean morfoscópicos o genéticos) empleados para la identificación. Esta metodología permite obtener identificaciones positivas certeras en un contexto complejo como la actual crisis de seguridad y humanitaria que vive México, donde los departamentos de identificación afrontan carencias materiales y rezagos metodológicos cada vez más ostensibles.

El principal objetivo de este esquema es proporcionar las vías necesarias para el avance de las investigaciones de personas desaparecidas en México. Su implementación nos permite conocer cabalmente el estatus de la investigación, diseñar una estrategia de intervención multidisciplinaria e interinstitucional, incentivar el mejoramiento de los procedimientos institucionales, restablecer el diálogo entre las partes involucradas (agentes del ministerio público, víctimas y

expertos forenses), documentar las irregularidades de los procesos y encontrar los problemas de fondo que impiden el desarrollo de las ciencias forense al interior de las instituciones.

En el mismo sentido, su puesta en práctica permite orientar la opinión pública hacia la demanda de diligencias judiciales con criterios de investigación científica, en contraste con la actual apología a los recursos tecnológicos, donde se espera que los instrumentos arrojen por sí solos la verdad sobre las evidencias recabadas en campo. En el mismo sentido, posiciona las herramientas metodológicas de la antropología forense como un recurso paralelo y complementario a la genética forense.

El MIIF se compone de fases subsecuentes en las que cada una de las actividades que se realizan, son parte fundamental de un proceso de investigación donde están involucrados diversos actores institucionales y de la sociedad civil, varias disciplinas científicas y acompañantes de las víctimas.

### Fase de documentación

La información relativa a la desaparición de una persona proviene de diversas fuentes. Los familiares y allegados a la víctima son quienes pueden proporcionar datos importantes referentes a la forma de vida, el entorno social, las condiciones físicas y de salud, las costumbres culturales y todo lo referente a la persona que se está buscando. Esta información es colectada en formatos de entrevista conocidos como *ficha antemortem* que tiene por objetivo obtener toda la información necesaria para lograr la identificación de una persona si es que ésta se halla sin vida. Sin embargo, ésta no es la única fuente de información y aunque es útil en la búsqueda de una persona, no es suficiente.

La investigación ministerial es la base principal para el desarrollo de una buena estrategia de búsqueda. Todas las acciones de investigación que emprende el agente del ministerio público son las que pueden orientar sobre lo que se requiere hacer, la continuidad de la investigación y las disciplinas que pueden contribuir en cada una de las tareas. La información relativa a las acciones del agente del ministerio público está documentada en el expediente de la investigación (averiguación previa o carpeta de investigación) y la revisión minuciosa de éste permite

establecer las pautas para diseñar una estrategia de intervención.

### Fase de diseño de estrategias de intervención

Una vez comprendida la problemática de la investigación se está en posibilidades de proponer metodologías, técnicas y actividades que den continuidad a la investigación de manera más certera la búsqueda de las personas desaparecidas, esto quiere decir que en tanto no se tenga un conocimiento integral del caso, no es posible determinar cuáles son las disciplinas científicas que se requieren.

El diseño de la estrategia requiere de una visión multidisciplinaria en la que se ubiquen las competencias de cada uno de los profesionales, pues si bien, la investigación puede combinar diferentes perspectivas, cada uno de los profesionales deberá plasmar sus resultados en un informe (o dictamen) y fundamentarlo teóricamente.

### Fase de implementación y seguimiento

La implementación de esta estrategia de investigación requiere de un trabajo de diálogo entre las partes involucradas, es decir, entre las autoridades encargadas de la investigación, los afectados, los acompañantes de derechos humanos y, sobre todo, entre los peritos oficiales e independientes. Cada uno de estos actores tiene una tarea fundamental en el desarrollo de la investigación y las acciones encaminadas a la localización de las personas desaparecidas, por lo que debe hacerse un ejercicio de colaboración y cooperación.

La articulación de conocimientos, necesidades, capacidades y competencias no es una tarea sencilla, sin embargo, es posible lograr un resultado favorable siempre que la comunicación entre las partes sea continua, pues partimos del principio de que todos los involucrados perseguimos el mismo objetivo. Esta forma de abordar las investigaciones teniendo una figura de perito independiente, nos permite contribuir de manera sustancial en las investigaciones, pues con ello es posible entender las circunstancias de la desaparición desde diferentes ópticas, conocer las acciones de investigación realizadas por las autoridades, identificar las necesidades metodológicas, señalar las irregularidades y omisiones, plantear estrategias alternativas para la investigación, definir la participación de las disciplinas forenses,

y finalmente, delimitar el campo de acción de la antropología forense en cada caso.

## BÚSQUEDA DEL CUERPO DE GEMMA MAVIL

### Documentación: ¿A quién buscamos?

Gemma Mavil Hernández nació el 17 de marzo de 1982. Tenía 29 años al momento de su desaparición. Era de complejión robusta, piel morena clara, cabello largo rizado de color castaño oscuro y una estatura aproximada de 1.70-1.75 m. Ella salió el día 3 de mayo de 2011 de su casa ubicada en Xico, municipio de Xalapa en el estado de Veracruz, para presentar un examen de trabajo. Su padre, el contador Pedro Mavil la vio por última vez vestida con una blusa verde militar y pantalón de mezclilla; zapatos de color rojo y una bolsa grande floreada donde llevaba documentos personales. Para la entrevista de trabajo debía presentarse en un edificio ubicado en Carrillo Puerto y Juárez, en el centro de la ciudad.

A las 13:30 hrs del mismo día, el padre de Gemma recibió una llamada de una mujer diciendo que tenía secuestrada a su hija. Supo que se trataba de ella porque le llamó a su hermano “indio”, como ella acostumbraba a apodarlo. Inmediatamente, la familia de Gemma dio aviso a la Unidad Especializada en Combate al Secuestro de la Fiscalía General de Veracruz. Al día siguiente fueron detenidas dos personas presuntamente implicadas en el secuestro, pero una de ellas salió libre por no tener vinculación con el caso y la otra falleció de un ataque cardíaco durante el proceso de vinculación.

Un mes después del secuestro de Gemma, el coordinador de la unidad citada le comunicó al Sr. Mavil que se tenía un resultado positivo en el cotejo del perfil genético proporcionado por él y su esposa, con un cuerpo que había sido ingresado al Servicio Médico Forense (semefo) en una fecha cercana al día del secuestro de su hija, pese a ello, no le permitieron tener acceso a esta información asentada en el expediente. Más aún, el cuerpo habría sido enviado a la fosa común en una diligencia de inhumación donde fueron trasladados dos cuerpos más el día 04 de octubre de 2011. Las autoridades resolvieron la entrega del cuerpo hasta junio de 2016, fue entonces que la familia solicitó la participación del emaf como peritos independientes, en la exhumación, aná-



lisis antropofísico y eventual toma de muestras que les permitiera tener la certeza de la identidad de su hija.

Los peritajes independientes son un derecho de los afectados, víctimas e imputados, asentado en el Código Nacional de Procedimientos Penales (Art. 338 y Art. 340) y en la Ley General de Víctimas (Art. 12 fracc. XIII, Art. 15 y Art. 21). Desde este punto de partida, esta estrategia de trabajo se apega a los procedimientos ministeriales, el aporte metodológico pueda traducirse en la obtención de las pruebas necesarias para la judicialización del caso. Asimismo, la formalización de la participación profesional en la Carpeta de Investigación (acreditación como peritos de parte) permite acceder a la información contenida en el expediente y de ese modo, trazar una estrategia de trabajo que brinde certeza a las familias respecto a la opinión profesional emitida.

En el caso de la diligencia de exhumación para recuperar el cuerpo de Gemma Mavil, se requerían conocer los oficios que ampararan la trazabilidad del cuerpo: desde el levantamiento, su traslado al semefo, el *archivo básico de identificación* (los dictámenes de necropsia, antropología, odontología, dactiloscopia y registro de toma muestras de ADN y de las prendas que le acompañaban) y el registro del traslado a su destino final, para poder tener un planteamiento general sobre las posibilidades de que alguna de las Personas Fallecidas no Identificadas (pfni) inhumadas en el Panteón de Palo Verde –donde se realizaría la diligencia– se tratara de Gemma Mavil Hernández.

A través del análisis del expediente, supimos que la PFNI -presuntamente Gemma Mavil-, fue localizada el 13 de agosto de 2011 en un predio ubicado aproximadamente a 1 km en línea recta de donde fue vista por última vez. En la averiguación se refiere que el cuerpo fue inhumado el día 4 de octubre del mismo año en la fosa común del Panteón Palo Verde en Xalapa. Dicho reporte de inhumación presenta un croquis de lugar, asimismo, en la serie fotográfica del traslado se observa que dentro del vehículo iban dos ataúdes, mismos que fueron inhumados en la fosa de aproximadamente 15 m<sup>2</sup> que se excavó para ello en el área de fosa común, la cual no es un espacio claramente delimitado, sino que se encuentra entre lotes funerarios particulares.

Tres años después, en agosto de 2014, se ordenó la exhumación del cuerpo para toma de muestras para análisis genético en campo, posteriormente se informa que no se pudo obtener

ADN y es hasta 2016 que se planteó acudir al punto donde la serie fotográfica de la inhumación indica referencias espaciales existentes aún en ese año, tales como árboles y características de las sepulturas aledañas, pues no se asientan en el documento referencias espaciales sistematizadas (p. e. número de fila, número de fosa) ni coordenadas geográficas que nos pudieran servir como una referencia precisa para practicar la exhumación.

## Principios para la intervención

Conocer el procedimiento que se lleva a cabo cuando se localiza una persona fallecida que no es identificada, permite ampliar la perspectiva de investigación y visualizar las dificultades que inciden en la identificación efectiva. De esta manera, es posible establecer una comparación entre lo que debió realizarse y lo que está asentado en el expediente que compone la carpeta de investigación para así encontrar las irregularidades y diseñar una estrategia.

Cuando se descubre un cuerpo en condiciones que limitan la posibilidad de conocer su identidad, regularmente es la población quien hace el hallazgo y se lo comunica a la autoridad competente a través de una denuncia; la intervención ministerial genera un expediente (Carpeta de Investigación, Averiguación Previa, Noticia Criminal o Acta Circunstanciada) en el que se incluyen los datos relevantes referentes a la investigación. Posteriormente, se desarrollan los procesos de fijación de la escena y levantamiento de evidencias (donde se incluye el levantamiento del cuerpo); se lleva a cabo el traslado, la recepción del cuerpo y resguardo en semefo, donde son generados los análisis que componen el Archivo Básico de Identificación.

El archivo referido se integra toda vez que no exista familiar alguno que haya reclamado el cuerpo de la persona fallecida o si no existe dato alguno que refiera su identidad; una vez que se integra, la pfni está en espera de ser identificada mediante el cotejo de la información derivada del archivo (datos PM) y la que se recupera a los familiares que tienen personas desaparecidas o no localizadas a través del cuestionario AM. El cruce comparativo mediante criterios idénticos de cotejo permite identificar coincidencias entre las personas que buscan algún desaparecido y las personas albergadas en el semefo y la Fosa Común que se encuentran en calidad de no identificado.

Dada la probabilidad de recuperar dos o más cuerpos, se planteó al fiscal a cargo de la investigación y a los peritos oficiales, que era indispensable el análisis de todos los cuerpos (o restos) que se localizaran en las instalaciones del semefo, con independencia de la legibilidad de los datos asentados en las bolsas de cadáver, pues se debía realizar un análisis antropofísico suficiente para despejar cualquier duda al respecto de la identificación de Gemma Mavil. En este mismo sentido, se indicó que únicamente se recuperaría muestra para extracción de adn en caso de que el perfil biológico de los cuerpos correspondiera con las características físicas de la persona que se buscaba.

Existe una apreciación generalizada de que el proceso de identificación humana se desahoga con la obtención de un perfil genético. Sin embargo, la identificación de una persona no depende exclusivamente del análisis en genética: este es, en primera instancia, un rasgo biomolecular el cual a su vez posibilita la identificación de un cuerpo desconocido cuando es cotejado con otros perfiles genéticos conocidos (el de los probables familiares). En realidad, la pericial en genética es la última etapa de un proceso forense de identificación humana donde están involucradas otras ciencias tales como la arqueología, la antropología física, la odontología, la medicina y la lofoscopia. Es decir, la obtención de un perfil genético no es el objetivo del proceso de identificación -misma que es corroborada a través del cotejo de la muestra en controversia con las muestras donadas por los presuntos familiares en virtud del parentesco biológico- sino contar con diferentes pruebas científicas que permitan acotar el *corpus* de perfiles de ADN que serán sometidos al ejercicio bioestadístico.

Además de esto, es importante señalar que la confiabilidad de una muestra no comienza con su manejo en el laboratorio, sino desde el espacio mismo donde es recuperado un cuerpo, motivo por el cual deben observarse criterios de muestreo que garanticen la inocuidad del ambiente al momento de la toma de muestra tanto como la trazabilidad de la misma, condición de certeza sobre su origen que es controlada con la Cadena de Custodia.

En el caso de las diligencias dedicadas a la búsqueda, localización e identificación de los restos de Gemma Mavil, el MIIF ID pudo aportar datos relevantes para el avance de la investigación ministerial, como expondremos más adelante. En primer término, señalaremos que

en la opinión profesional emitida e integrada en el expediente por la autoridad a cargo, planteamos como fundamentos de nuestra disciplina el concepto amplio de antropología, señalando que la antropología forense comenzó como una rama de la antropología física cuyo objetivo es la identificación de restos humanos ya sea parcial o totalmente esqueléticos (Steward, 1979; Pickering y Bachman, 2009), a través de métodos para determinar el sexo, estimar la edad, la estatura y el reconocimiento de las características biológicas individualizantes de un sujeto implicado en un contexto legal. Sin embargo, su campo operativo es multidisciplinario, pues a efecto de ofrecer certeza en sus aseveraciones, retoma el conjunto de planteamientos teórico metodológicos de las diversas áreas de la antropología tales como: la arqueología, la antropología social o cultural, la antropología física, la historia, la etnología, la lingüística; poniendo en práctica las distintas metodologías y técnicas a su alcance, a su vez se trabaja de manera conjunta con otras disciplinas provenientes de la ciencia forense (Dupras *et al.*, 2006, Hunter y Cox, 2005; Lara, 2009).

Asentamos también que, para dar validez a la prueba, ambas disciplinas se desempeñan a partir de tres supuestos principales:

1. **Fiabilidad.** Se refiere al proceso de medición o registro correcto y consistente de un objeto, un sitio o una característica física que sea cuantificable y permita reconocer el grado de error del mismo observador o entre observadores, esto da sustento al principio de repetitividad científica.
2. **Validez.** Dicho principio es aplicado para darle veracidad y validez a los datos que el antropólogo forense retoma para su intervención pericial.
3. **Porcentaje de confiabilidad.** Antes de aplicar un método para dar solución a cualquier cuestionamiento dentro del campo de la antropología forense, la tasa de error debe de ser conocida. Por lo tanto, el experto forense debe retomar los métodos con tasas de error más bajas o reconocer un método válido y fiable (Ousley y Hollinger, 2012. P. 659).

Dado que la naturaleza del caso para el que fuimos llamados demandaba acciones de búsqueda y localización, nuestra intervención también debía fundamentarse en la arqueología forense, enfocada en la comprensión, el reconocimiento, el registro, la interpretación espacial e

histórica del sitio, es decir la formación del contexto, así como los atributos de un área específica. Este tipo de intervenciones permiten localizar de manera precisa el o los individuos y registrar su disposición, así como sus relaciones contextuales con artefactos y ecodatos.

### La búsqueda en el panteón Palo Verde, Xalapa

La intervención estuvo a cargo del agente del Ministerio Público adscrito a la Unidad Especializada contra el Secuestro de la Fiscalía General del Estado de Veracruz (FGE). Para darle cumplimiento, asistieron peritos en fotografía, video, criminalística de campo y odontología adscritos a la Dirección General de Servicios Periciales de la misma instancia estatal (FGE). Asimismo, estuvieron presentes en los trabajos de exhumación el padre y el hermano de Gemma y representantes de la Comisión Nacional de Derechos Humanos (cndh). Es importante señalar que, en este tipo de casos, donde se presumen omisiones en el actuar de la autoridad, es importante la presencia de estos tres actores sociales, pues cada uno contribuye a distender las situaciones de conflicto; por ejemplo, como se trataba de una exhumación de restos enviados a fosa común por la fiscalía, se argumentó que las actividades de exhumación y registro debían ser hechas únicamente por los peritos oficiales, no obstante que nuestra acreditación como peritos independientes asentada en la Carpeta de Investigación, nos confería un estatus de responsabilidad judicial equivalente.

En ese sentido, la mediación de los familiares y la presencia de la CNDH posibilitaron que se nos permitiera el ingreso al área, con la finalidad de atestiguar los procedimientos y tomar fotografías para sustentar nuestra propia opinión profesional. Más aún, pudimos informar puntualmente a la familia sobre las acciones que se estaban llevando a cabo en el área de intervención y resolver sus inquietudes cuando las acciones de los peritos les resultaban confusas.

Durante la primera exhumación, recuperamos dos cuerpos identificados con placas de metal los cuales no correspondían con el número de expediente que buscábamos. Tal como lo planteamos a la autoridad a cargo, requeríamos hacer el análisis antropofísico para poder sostener la hipótesis de identidad según la cual, dichos

cuerpos no correspondían con las características físicas de la persona que buscábamos.

Los cadáveres recuperados del lugar de intervención por parte de los peritos adscritos a la Dirección General de Servicios Periciales de la Fiscalía General del Estado de Veracruz fueron examinados en las instalaciones del semefo de la Fiscalía General del Estado de Veracruz el mismo día de la exhumación. De manera simultánea intervinimos: peritos oficiales de la PGR, los del estado de Veracruz y el EMAF, con la intención de agilizar el análisis, asimismo, establecer el acuerdo para la aplicación de los protocolos vigentes.

Esta dinámica de trabajo permite estandarizar los procedimientos y hacer una evaluación conjunta, entre las distintas partes, de los métodos y estrategias que deben emplearse. Primeramente, se estableció como acuerdo entre peritos que la médica forense de la PGJE coordinaría la intervención, y que a cada paso del análisis se irían discutiendo las metodologías y resultados buscando un consenso. En caso de no estar de acuerdo, quedarían asentadas dichas inconformidades en los informes que cada equipo presentaría. Asimismo, se invitó al representante de la cndh a presenciar el análisis completo, para dar garantía del procedimiento de trabajo conjunto y el trato digno a las pfn recuperadas de la fosa común.

- a. **Generales.** Se comenzó un procedimiento de registro fotográfico (serie fotográfica), simultáneo, para proceder a la limpieza, la que se realizó por un integrante de cada uno de los tres equipos (PGR, PGJE, EMAF). Asimismo, la extensión de los restos en posición anatómica para realizar el inventario.
- b. **Perfil biológico.** Estimación del sexo. - Los métodos utilizados y recomendados para la estimación del sexo en el caso de individuos adultos se fundamentan en la observación de los rasgos que señalen el grado de dimorfismo sexual. Para el análisis de rasgos de la sínfisis púbica se utiliza el método de Alexandra Klales *et al.* (2012) y para los cambios morfológicos del cráneo el método de Walker (2008). Otros rasgos pueden ser empleados, tales como la evaluación de la cabeza del fémur (Albanese *et al.*, 2008). En esta intervención se acordó evaluar la sínfisis púbica y el cráneo, pues tanto la pelvis como el

cráneo se encontraron en condiciones óptimas para su observación.

**Estimación de la edad.** La estimación de la edad de individuos adultos se realiza utilizando una combinación de métodos a través de los que se observan los cambios degenerativos en diferentes huesos del cuerpo humano. En este caso, evaluamos la metamorfosis de la sínfisis púbica (Brooks y Suchey, 1990), los cambios en el borde esternal de la cuarta costilla (Hartnett, 2010; Işcan *et al.*, 1984 e Işcan, 1988) y la superficie auricular de los coxales (Buckberry y Chamberlain, 2002). En otros protocolos internacionales (EPAF, 2014), también están considerados los métodos de evaluación de la primera costilla (DiGangi, *et al.*, 2009); la morfología del acetábulo (Calce, 2012); los rasgos morfológicos del sacro (Passalacqua, 2009); y la transparencia de raíz en dientes (Lamendin, *et al.* 1992).

**Estatura.** La estatura de los adultos se estimó con base en las medidas longitudinales del fémur, tibia, cúbito y radio, usando las fórmulas propuestas por Del Ángel y Cisneros (2004).

- a. **Rasgos individualizantes.** Las lesiones *ante mortem* pueden distinguirse por observarse en ellas rasgos de cicatrización, lo que se conoce como remodelación ósea, la cual puede manifestarse en el crecimiento anormal del hueso, la formación de callo óseo, tejido necrótico u otras características asociadas a procesos infecciosos (Ortner, 2003). Las fracturas producidas por dichas lesiones comenzarán a sanar (modificarse) en función de diversos procesos en el organismo, en las primeras tres semanas los bordes de las fracturas serán romos al tiempo que sucede la unión entre dos partes; aproximadamente seis semanas después el hueso comienza a recobrar su forma estructural y se producirá un callo óseo, que es un crecimiento diferente al original de la estructura y por lo tanto puede percibirse desorganizado (Kimmerle y Baraybar 2011:66-68). Estas características indican que dichas lesiones ocurrieron antes del momento de la muerte, lo que las convierte en un rasgo individualizante.
- b. **Traumatismos.** La investigación médico legal debe aportar la evidencia científica respecto de la forma y causa más probable de la muerte, el perfil social de la víctima y la naturaleza del crimen cometido, por lo tanto, el objetivo del análisis *post*

*mortem* consiste en diagnosticar lesiones óseas e interpretar con la mayor precisión posible el mecanismo bajo el cual fueron producidas (mecanismo lesional), lo que contribuye a determinar la probable causa de muerte.

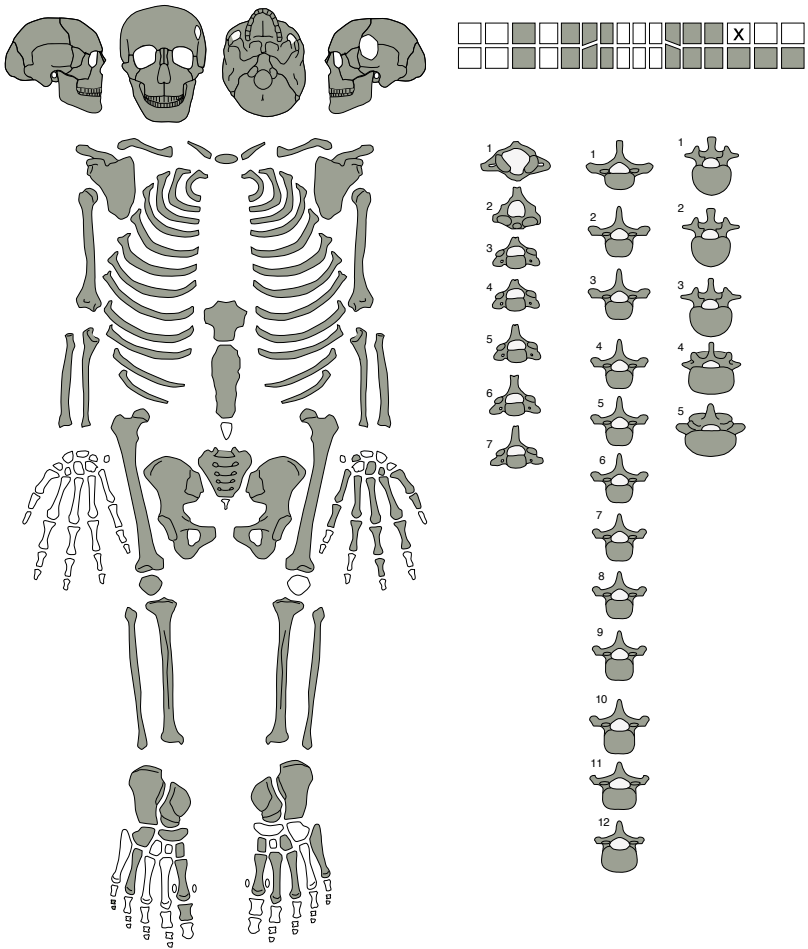
El análisis de traumatismos óseos ha sido una herramienta de apoyo para la determinación del modo de la muerte y los agentes lesionales, pero también para la documentación de la investigación forense en los casos de violaciones a los derechos humanos, ya que con ello no sólo se revela las probables causas de la muerte, sino las circunstancias y el sufrimiento humano por el que atravesó la víctima. Contribuyendo a la identificación de los criminales y de los abusos cometidos en contra de las víctimas. La clasificación de las lesiones según su mecanismo y etiología registradas en el cuerpo son utilizadas para la determinación de la causa de muerte más probable, esto es, la clasificación de las lesiones en letales y letales sin tratamiento, que por su naturaleza contribuyeron a la muerte del individuo (Kimmerle y Baraybar, 2011).

### Persona Fallecida no Identificada 1

Después de realizar el registro fotográfico de las condiciones del embalaje y la limpieza superficial de los restos óseos, se observó que éstos pertenecían a un solo individuo del cual se preservó la mayor parte del esqueleto (figura 3), el cráneo se encontró totalmente esquelizado y parcialmente completo.

Para la estimación de edad se tomaron en cuenta los indicadores morfológicos de la superficie de la sínfisis púbica y el borde esternal de la cuarta costilla izquierda, con lo que se realizó una superposición de intervalos para obtener un rango de edad de 23 a 57 años. Para la estimación de sexo se tomaron en cuenta los rasgos morfológicos de la pelvis obteniendo un grado de probabilidad de 97% de que corresponde con un individuo masculino (tabla 1). El rango de estatura se determinó a partir del cálculo con las medidas de húmero y peroné izquierdos, obteniendo 161.43 cm y 162.79 cm.

En la región de unión entre el temporal y parietal izquierdo presenta un orificio de 4.5 cm por 4.8 cm. La perforación atravesó la capa del díploe y posiblemente esté asociado a una intervención quirúrgica (figura 4).



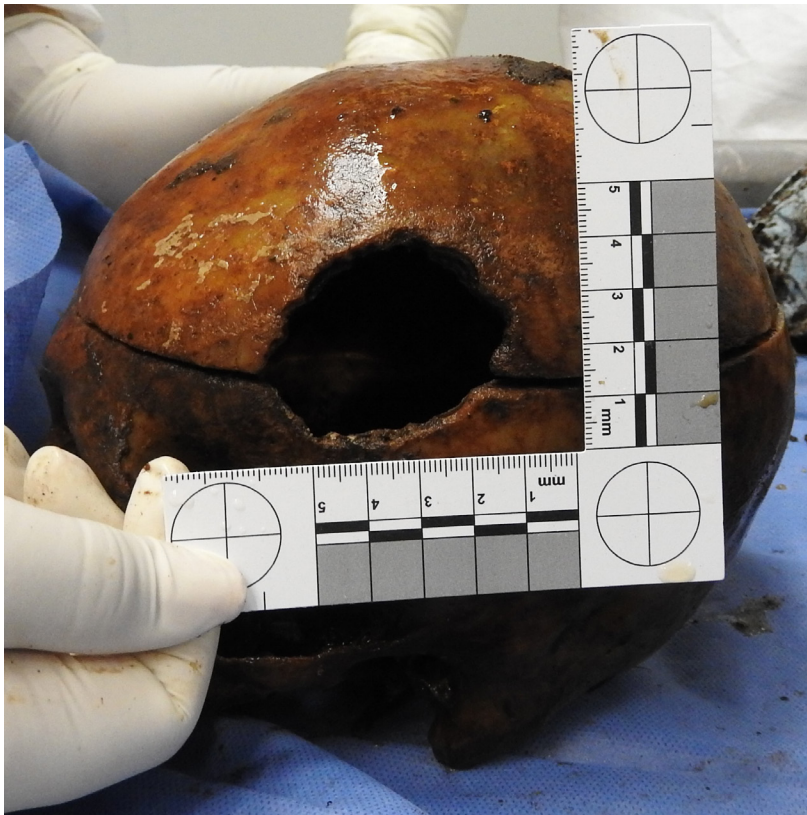
**Figura 3.** Inventario gráfico de la PFN1

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 1.** Rasgos morfológicos en pelvis para la estimación de sexo

Indicador			Probabilidad estadística	
VA	SPC	MA	Femenino	Masculino
4	4	4	0.232029381456441	0.976797061854356

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.** Detalle de intervención quirúrgica en bóveda craneal del lado izquierdo

*Fuente: Elaboración propia.*

Cabe mencionar que el primero, segundo molar inferior y segundo premolar del lado izquierdo, así como primer molar y segundo premolar ambos del lado derecho, presentan evidencia de curación profiláctica odontológica por lesión cariosa sobre la superficie oclusal. Además, fue posible observar proceso inflamatorio en la región del segundo molar inferior derecho (figura 5). Asimismo, se observó en la cintura pélvica el anquilosamiento en las dos articulaciones sacroilíacas (figura 6).

### Persona Fallecida no Identificada 2

El rango de edad estimado fue de 21 a 38 años a la muerte (Buckberry y Chamberlain, 2002). El estado de conservación de la cintura pélvica no era suficiente para el análisis, por lo que el sexo fue determinado evaluando indicadores morfológicos del cráneo a partir del cual se determinó que existe un 99% de probabilidad de que los restos correspondan a un individuo del sexo masculino (tabla 2).

El rango de estatura se estableció entre los 158.89 y 161.72 cm por longitud de fémur y radio izquierdos. El cráneo se encontró completo, corte por necrocirugía y no se observaron signos patológicos o evidencias de trauma o lesión. Los



**Figura 5.** Vista superior de mandíbula

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.** Indicadores morfológicos en cráneo para la estimación de sexo

**Indicadores esqueléticos del cráneo**

cresta nugal	mastoides	órbita	glabela	mentón	
2	5	4	4	3	

**Determinación del sexo**

puntaje	sexo	Prob Masc	Prob Fem	certeza	Variabes
-5.747	masculino	1.0	0.0	88 / 86	gl-ma-me
-6.133	masculino	1.0	0.0	85 / 83	gl-ma
-3.183	masculino	0.96	0.04	87 / 82	gl-me
-4.58	masculino	0.99	0.01	70 / 84	me-ma
-3.56	masculino	0.97	0.03	78 / 78	or-me
-3.866	masculino	0.98	0.02	77 / 83	nu-ma

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6.** Detalle de cintura pélvica y extremidad inferior

*Fuente: Elaboración propia.*

molares superiores derechos presentaban una concavidad cilíndrica propia de un tratamiento odontológico por lesiones cariosas.

Los resultados del análisis osteológico mostraron que se trataba de dos individuos masculinos y dado que ambos se encontraban identificados con placas de metal, solicitamos la lectura de los expedientes. En el caso de la pfn1 1, el registro de necrocirugía refiere que se trata de un masculino de 38 años fallecido por insuficiencia hepática. El informe correspondiente a la pfn1 2, refiere un masculino fallecido por traumatismo craneo encefálico con hemorragia epidural. Más aún, en función del análisis del expediente, tuvimos elementos para reportar que pese a la poca claridad con la cual estaba referida la ubicación de la fosa en el oficio, la serie fotográfica mostraba fielmente los elementos del paisaje empleados como referencia para excavarla e incluso se recuperaron los ataúdes con las características descritas en el oficio, pero no el cuerpo de Gemma.

## Seguimiento

En la opinión profesional entregada, planteamos que tras un trabajo controlado en campo y un análisis minucioso de los restos en semefo, pudimos determinar que los dos cadáveres analizados no correspondían con la identidad de Gemma Mavil. Además, referimos que la información documental de los expedientes coincidía con nuestras observaciones. Más aún, la serie fotográfica de la diligencia de inhumación no permitía aseverar que el cuerpo de Gemma se hubiera depositado ahí y, por último, que no existía registro gráfico de la diligencia de 2014 hecha para recuperar muestras de ADN tanto de Gemma como de la PFnI 2. De este modo, argumentamos la búsqueda de la información documental que completara estos vacíos, como un paso indispensable para lograr la recuperación de los restos.

La solidez de la argumentación posibilitó que el fiscal planteara otro tipo de actos de investigación ministerial las cuales no implicaban directamente el peritaje en arqueología, ni antropología física. Asimismo, proporcionó ar-



gumentos para que se iniciara un procedimiento de investigación en controlaría interna por los errores y omisiones en el seguimiento de la cadena de custodia, por la desaparición del cuerpo de Gemma Mavil (La Silla Rota, 2017).

## CONCLUSIONES

La búsqueda de personas fallecidas sin identificar en el panteón Palo Verde es una experiencia de intervención que permitió poner en práctica el MIIF ID para los casos de desaparición de personas. En este documento se aborda un ejemplo de la complejidad que se enfrenta en la búsqueda de una persona desaparecida, pues se trata de una investigación iniciada por el delito de secuestro que, debido a la falta de capacidades institucionales y la crisis de violencia en el estado, no resulta en la recuperación de la víctima. Lamentablemente ésta pierde la vida meses después y su cuerpo es abandonado en condiciones que dificultan su identificación.

La recuperación de su cuerpo se llevó a cabo de acuerdo con los protocolos estatales, así como los análisis forenses para obtener su identidad. Sin embargo, los resultados no fueron los esperados, aun cuando las autoridades estatales señalaron que contaban con la estandarización y vigilancia de los procedimientos forenses. El comparativo que debe llevarse a cabo para hacer la identificación no se realizó a tiempo ni de la manera adecuada, por lo que no hubo una identificación positiva antes de que el cuerpo fuera llevado a la fosa común para ser sepultado. Eso mantuvo a los familiares de Gemma en la incertidumbre por varios meses. No obstante, la identificación que se obtuvo meses posteriores a su localización y a través de un comparativo entre muestras de perfil genético abrió las puertas de un nuevo problema: la falta de orden, registro y control de las inhumaciones en los espacios destinados al resguardo de las personas que han fallecido y que no fueron identificadas.

Hasta hace unos años en México el manejo de las fosas comunes no representaba una problemática que debiera ser atendida. Generalmente, los cadáveres enviados al Servicio Médico Forense (semefo) en calidad de desconocidos eran en su mayoría, personas que fallecían en situación de indigencia o en alguna otra circunstancia adversa que imposibilitaba relacionarlos con algún deudo. Más aún, en el sistema de justicia los restos humanos pocas veces eran aquilardados en su calidad de evidencias.

Actualmente, los espacios destinados en los panteones municipales para fosa común están siendo requeridos con mayor asiduidad por parte de las procuradurías y/o fiscalías. Debido al creciente número de casos de desaparición, los cuerpos que son inhumados en fosa común muchas veces no son identificados plenamente sino hasta años después. Es entonces cuando se gira una orden de exhumación para lograr restituirlos a sus familiares. El manejo de fosas comunes es un tema fundamental en el debate público suscitado en torno a las desapariciones y homicidios en México, en él son evidentes los retos que enfrentan la investigación en materia de identificación humana, tanto como labor indispensable en la digna restitución de los que han fallecido en esas condiciones, como en el fortalecimiento del valor de las pruebas forenses en un nuevo sistema de justicia penal.

Ante la problemática a la que se ha hecho referencia, es preciso poner atención en las posibles soluciones al manejo de las fosas comunes. En los próximos años estaremos ante la creciente demanda de exhumaciones en estos espacios, motivada por la necesidad de localizar los cuerpos que en su momento llegaron a los diferentes Servicios Médicos Forenses en calidad de desconocidos y cuya identificación ahora demanda un tiempo considerable, que incluso se obtiene cuando ya fueron inhumados (figura 7).

Para prever su futura localización, es claro que desde ahora deben tomarse medidas preventivas para el adecuado registro de las fosas comunes, lo que supone la creación de mecanismos de colaboración entre diferentes instancias y actores. Principalmente aquellas involucradas en el manejo del cuerpo desde su deceso o descubrimiento hasta la entrega a sus familiares. Entre ellos destaca la relevancia de la Fiscalía y/o Procuraduría en la coordinación, investigación, toma de decisiones y responsabilidad sobre el cuerpo de una pfní; el Servicio Médico Forense en su calidad de integrador del Archivo Básico de Identificación y los Servicios Municipales de Panteones como instancia encargada de velar por el adecuado resguardo temporal de la pfní mientras es restituida a sus familiares.

Ante la ausencia de una armonización legal, es necesario implementar estrategias operativas que mitiguen el manejo inadecuado de las PFnI, principalmente en los panteones municipales, dado que es en el orden de gobierno donde se concentra la mayor carencia de recursos legales invertidos para su óptimo manejo. Una estrate-



**Figura 7.** Ejemplo de un manejo inadecuado de la fosa común

Fuente: Elaboración propia.

gia es documentar las prácticas que se han llevado a cabo a partir de la reconfiguración del uso de la fosa común y como resultado del incremento en el número de personas que se inhuman en este espacio. Esto posibilita considerar nuevas y mejores formas de inhumación, registro, referencia y localización; asimismo, permite reconocer las prácticas que debieran erradicarse. Para ello, es necesario establecer que el procedimiento es uno solo, desde el principio hasta la restitución; que los principios de cadena de custodia deben ser implementados también durante las actividades en el panteón y retomar los métodos de referencia, localización y marcaje de fosas vistos en los panteones que resultan ser efectivos.

Asimismo, es importante tener en cuenta los conceptos legales, emitidos en documentos del orden federal que guían una práctica homologada, en ese sentido, relacionado con la trazabilidad de los indicios, el CFPP en su artículo 123 *Quintus*, indica que una vez que se han llevado a cabo los análisis solicitados, “la evidencia restante será devuelta al Ministerio Público, quien ordenará su resguardo para posteriores diligencias o su destrucción, si resulta procedente”, de manera que se entiende que el custodio del cadáver antes de su inhumación es el Ministerio

Público, por lo que de mandarse a inhumar, es él quien lo ordenará. Esto último lo corrobora el artículo 130 del CFPP. Adicionalmente, en el Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y la Investigación del Delito de Desaparición Forzada, en el párrafo 3.3.12, se menciona que la inhumación “debe hacerse en fosas individualizadas, separando cada cuerpo en una bolsa especial para resguardo de cadáveres, la cual deberá llevar al interior una placa de metal con los datos de la averiguación previa/carpeta de investigación que corresponda”.

El proceso de exhumación está motivado principalmente por una identificación generada con base en los cotejos AM/PM, involucra la ubicación de la fosa mediante los registros generados por el panteón, así como la corroboración de la identidad del cuerpo exhumado a cargo de los Servicios Periciales. Si la identificación del cadáver es negativa entonces se implementa el proceso de reinhumación, que consiste en reubicar el cuerpo exhumado en un espacio adecuado para su resguardo (figura 8). Esto significa que el esfuerzo empeñado en una inhumación con atributos óptimos permite -una vez obtenida una identificación positiva- que pueda localizarse a la PFNI depositada en la fosa común de ma-



**Figura 8.** Ejemplo de un manejo adecuado de una fosa común en gavetas e individualizada

*Fuente: Elaboración propia.*

nera ágil; de tal suerte que la restitución pueda gestarse bajo las mejores condiciones posibles. Por esta razón, es importante considerar que el cuidado se extiende más allá del momento de la inhumación y es necesario tener presente que su importancia descansa en una exhumación exitosa. Finalmente, resulta importante recordar que el adecuado manejo de las Personas Fallecidas no Identificadas contribuye a resolver el problema de la desaparición y por ende, a restituir a las familias sus seres queridos.

La participación de peritos independientes es una oportunidad para contribuir en la investigación pues desde el inicio abre las ventanas del diálogo y la posibilidad de revisión de las actividades y procedimientos institucionales para conocer los puntos débiles de la investigación y fortalecerla. La visión integral de la antropología forense nos permite proponer desde una perspectiva multidisciplinaria estrategias que sustenten nuevas líneas de investigación o bien, que aporten las pruebas necesarias para fortalecer las teorías del caso ya formuladas. Asimismo, al adentrarse en el análisis de la información contenida en los expedientes se está en posibilidades de conocer los procedimientos y advertir sobre sus fallas; así como conocer nue-

vas problemáticas que son difíciles de detectar cuando se está ante un problema de dimensiones como las que vivimos, como lo ocurrido con los procedimientos de identificación, el resguardo de las personas fallecidas no identificadas y, el manejo de las fosas comunes.

## AGRADECIMIENTOS

A la familia Mavil por su total confianza, reconocemos y admiramos su esfuerzo, compromiso y entereza en todo momento. También agradecemos a la Unidad Antisecuestros de la Fiscalía General de Veracruz y su cuerpo laboral, quienes estuvieron dispuestos a llevar a buen término la colaboración entre instituciones.

Al Colectivo por la Paz de Xalapa quienes apoyaron de manera incansable a la familia Mavil. Es digno destacar su genuina lucha y el gran compromiso que tienen con las familias de los desaparecidos. Así mismo, destacamos la lucha de todas las personas que tienen un familiar desaparecido y que no descansan en su búsqueda.

Finalmente, agradecemos el apoyo y esfuerzo de todos los que componen el Equipo Mexicano de Antropología Forense por su trabajo crítico y reflexivo.

## REFERENCIAS CITADAS

- Albanese J, Eklics G, Tuck A. 2008. A metric method for sex determination using the proximal femur and fragmentary hipbone. *J Forensic Sci* 53(6): 1283-1288.
- Aristegui Noticias. 2015. Estados deben “establecer y activar protocolos” para la búsqueda de desaparecidos: ONU. Recuperado de: <https://aristeguinoticias.com/2808/mundo/estados-deben-establecer-y-activar-protocolos-para-la-busqueda-de-desaparecidos-onu/> [Acceso: 01 ago 2018].
- Buckberry J, Chamberlain A. 2002. Age estimation from the auricular surface of the ilium: A revised method. *Am J Phys Anthropol* 119(3):231–239.
- Brooks S, Suchey JM. 1990. Skeletal age determination based on the pubis: A comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Hum Evol* 5(3):227-238.
- Calce SE. 2012. A new method to estimate adult age-at-death using the acetabulum. *Am J Phys Anthropol* 148(1):11–23
- Cantú Martínez S. 2016. Evidencia de tortura y otros tratos crueles, inhumanos o degradantes. *Resiliencia* 3:38-55.
- Corte IDH, Caso González y otras (“Campo algodoner”) vs. México (Excepción Preliminar, Fondo, Reparaciones y Costas), Sentencia del 16 de noviembre de 2009. [Acceso: 07 ago 2018] [http://www.corteidh.or.cr/docs/casos/articulos/seriec\\_205\\_esp.pdf](http://www.corteidh.or.cr/docs/casos/articulos/seriec_205_esp.pdf)
- Corte IDH, Caso Radilla Pacheco vs. Estados Unidos Mexicanos (Excepciones Preliminares, Fondo, Reparaciones y Costas), Sentencia del 23 de noviembre de 2009. [Acceso: 07 ago 2018] [http://www.corteidh.or.cr/docs/casos/articulos/seriec\\_209\\_esp.pdf](http://www.corteidh.or.cr/docs/casos/articulos/seriec_209_esp.pdf)
- [CNPP] Código Nacional de Procedimientos Penales. 2014. México. [Acceso: 07 ago 2018]. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5334903&fecha=05/03/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5334903&fecha=05/03/2014)
- [CPF] Código Penal Federal. 2015. México. [Acceso: 07 ago 2018]. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/48379/Codigo-Penal-Federal.pdf>
- Del Ángel A, Cisneros HB. 2004. Modification of Regression Equations Used to Estimate Stature in Mesoamerican Skeletal Remains. *Am J Phys Anthropol* 125(3):264-265.
- DiGangi EA, Bethard JD, Kimmerle EH, Konigsberg LW. 2009. A New Method for Estimating Age-At-Death From the First Rib *Am J Phys Anthropol* 138(2):164-176.
- Dupras TL, Shultz JJ, Wheeler SM, Williams LJ. 2011. *Forensic Recovery of Human Remains: Archaeological Approaches*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.
- [EMAF] Equipo Mexicano de Antropología Forense. 2016a. Opinión profesional. Diligencia de exhumación de los probables restos de Gemma Mavil Hernández del día 9 de junio de 2016. México: Fiscalía General del Estado de Veracruz.
- [EMAF] Equipo Mexicano de Antropología Forense. 2016b. Opinión profesional. Diligencia de exhumación de los probables restos de Gemma Mavil Hernández del día 2 de septiembre de 2016. México: Fiscalía General del Estado de Veracruz.
- [EPAF] Equipo Peruano de Antropología Forense. 2014. Manual de análisis de restos humanos aplicado a casos forenses. Documento interno.
- García Rodríguez, I. y Keller, O. 2019. Dimensionando el problema de las fosas clandestinas en México. *Animal Político*. Recuperado de: <https://www.animalpolitico.com/blogueros-verdad-justicia-reparacion/2017/11/20/dimensionando-problema-fosas-clandestinas-mexico/> [Acceso: 07 ago 2018].
- Hartnett KM. 2010. Analysis of Age at Death Estimation Using Data from a New, Modern Autopsy Sample—Part II: Sternal End of the Fourth Rib. *J Forensic Sci* 55(5):1152-1156.
- Hunter J, Cox M. 2005. *Forensic Archaeology Advances in Theory and Practice*. New York: Routledge.
- [inacipe] Instituto Nacional de Ciencias Penales, [dgcsp-pgr] Dirección General de la Coordinación de Servicios Periciales de la Procuraduría General de la República. 2012. *Protocolos de Cadena de Custodia: Dos grandes etapas:*

- preservación y procesamiento. 2da ed. México: inacipe. Recuperado de: [http://www.inacipe.gob.mx/stories/publicaciones/descargas\\_gratuitas/ProtocolosdeCadenadeCustodia.pdf](http://www.inacipe.gob.mx/stories/publicaciones/descargas_gratuitas/ProtocolosdeCadenadeCustodia.pdf) [Acceso: 07 ago 2018]
- Işcan MY, Loth SR, Wright RK. 1984. Metamorphosis at the sternal rib end: a new method to estimate age at death in white males. *Am J Phys Anthropol*, 65(2):147-156.
- Işcan MY. 1988. Rise of forensic anthropology. *Am J Phys Anthropol* 31(9 supl):203-229.
- Hernández Borbolla, Manuel. 23 de noviembre de 2017. Peña y Calderón suman 234 mil muertos y 2017 es oficialmente el año más violento en la historia reciente de México. *Huffpost*. Recuperado de [https://www.huffingtonpost.com.mx/2017/11/23/pena-y-calderon-suman-234-mil-muertos-y-2017-es-oficialmente-el-año-más-violento-en-la-historia-reciente-de-méxico\\_a\\_23285694/](https://www.huffingtonpost.com.mx/2017/11/23/pena-y-calderon-suman-234-mil-muertos-y-2017-es-oficialmente-el-año-más-violento-en-la-historia-reciente-de-méxico_a_23285694/) [Acceso: 07 ago 2018]
- Kimmerle EH y Baraybar JP. 2011. Traumatismos óseos: identificación de las lesiones resultantes de las violaciones de los derechos humanos y conflictos armados, Lima: EPAF [Acceso: 07 ago 2018]
- <https://books.google.com.mx/books?id=PfWcoAEACAAJ>.
- Klales, AR, Ousley, SD, Vollner, JM. 2012. A Revised Method of Sexing the Human Innominate Using Phenice's Nonmetric Traits and Statistical Methods. *Am J Phys Anthropol* 149 (1):104-114
- Lamendin, H. et al., 1992. A simple technique for age estimation in adult corpses: The two criteria dental method. *J Forensic Sci* 37:1373-1379
- Lara Barajas I. 2009. Fundamentos de Antropología forense. Técnicas de prospección, exhumación y análisis de restos óseos en casos forenses. México: INAH.
- La Silla Rota. 2017, 22 de noviembre. Funcionarias involucradas en desaparición de Gemma Mavil. Recuperado de: <https://lasillarota.com/estados/funcionarias-involucradas-en-desaparicion-de-gemma-mavil-veracruz-funcionarios-investigados-desaparicion/190229>; <http://libertad.bajopalabra.com/2017/11/22/funcionarias-fge-pgr-involucradas-inhumacion-gemma-mavil/> [Acceso: 07 ago 2018]
- Ortner DI. 2003. Theoretical Issues in Paleopathology. In *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Washington: Academy Press. p. 109-118.
- Ousley SD, Hollinger RE. 2012. Chapter 32, The Pervasiveness of Daubert. En Dirkmaat DC, editor. *A companion to Forensic Anthropology*. Malden: Wiley-Blackwell Publishing. p. 654-665.
- Passalacqua N.V. 2009. Forensic age-at-death estimation from the human sacrum. *J For Sci* 54(2):255-262.
- Pickering R., Bachman D. 2009. *The use of forensic anthropology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press
- [PGR] Procuraduría General de la República. 2015. Protocolo homologado para el tratamiento e identificación forense. México: PGR. [Acceso: 07 ago 2018]
- [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/343413/Protocolo\\_para\\_el\\_Tratamiento\\_e\\_Identificaci\\_n\\_Forenses.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/343413/Protocolo_para_el_Tratamiento_e_Identificaci_n_Forenses.pdf)
- [PGR] Procuraduría General de la República. 2015. Protocolo homologado para la búsqueda de personas desaparecidas y la investigación del delito de desaparición forzada. México: PGR. [Acceso: 07 ago 2018] [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/342262/Protocolo\\_Desaparici\\_n\\_Forzada\\_agosto\\_2015\\_Espa\\_ol.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/342262/Protocolo_Desaparici_n_Forzada_agosto_2015_Espa_ol.pdf)
- [PGR] Procuraduría General de la República. 2015. Guía nacional de cadena de custodia. México: PGR. [Acceso: 07 ago 2018]. <http://www.secretariadodejecutivo.gob.mx/docs/pdfs/normateca/protocolos/VF10GuaNacionalCadenadeCustodia28-10-2015.pdf>
- SDP noticias. 2018, 10 de septiembre. Registran más de 37 mil desaparecidos en México. Recuperado de <https://www.sdpnoticias.com/nacional/2018/07/10/registran-mas-de-37-mil-desaparecidos-en-mexico>. [Acceso: 07 ago 2018]
- Steward, TTD. 1979. *Essentials of Forensic Anthropology*. Especially as developed in the United States, Springfield: Charles C. Thomas Publisher.
- Walker, PL. 2008. Sexing Skulls Using Discriminant Function Analysis of Visually Assessed Traits. *Am J Phys Anthropol* 136(1):39-50.

# 28

## Clasificación de Lesiones Dentales en el Ámbito Penal de la Odontología Forense en la Ciudad de México. Estudio de Caso.

Laura Alicia Espinosa Escobar<sup>1</sup>

Palabras clave: Fractura radicular, sistema estomatognático, fonoarticulación, masticación.

### RESUMEN

El sistema estomatognático es el conjunto de estructuras anatómicas que conforma una unidad biológica que desarrolla funciones esenciales para el ser humano, como la masticación, la deglución, la fonoarticulación, la respiración bucal y que además contribuye en la expresión facial; parte de dicho sistema son los dientes, por lo que, una lesión dental siempre conllevará consecuencias que repercutirán en la totalidad de la unidad morfofuncional, antes mencionada. La clasificación médico-legal de lesiones siempre debe ser solicitada por una autoridad jurídica, como el Ministerio Público, y es fundamental que el profesional a cargo de dicha clasificación realice un análisis de los documentos médicos previos, así como, una exploración clínica minuciosa con lo que pueda establecer un diagnóstico, pronóstico y tratamiento para emitir lo solicitado y esto, a su vez, podrá ser utilizado como base para establecer una pena, por parte de un Juez, a la persona que resulte responsable del delito de Lesiones.

### ABSTRACT

The stomatognathic system is the set of anatomical structures that make up a biological unit which develops essential functions for the human being, such as chewing, swallowing, phonoarticulation, mouth breathing and also contributes to facial expression; part of this system is the teeth, so, a dental injury will always have consequences which affect the entire morphofunctional unit, mentioned above. Legal classification of injuries must always be requested by a legal authority, such as the

---

1 Profesora de asignatura en la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina, UNAM.

Public Prosecutor's Office, and it is essential that the professional in charge of such classification carry out an analysis of the previous medical documents, as well as a thorough clinical examination with which they can establish a diagnosis, prognosis and treatment to issue what is requested and thus, in turn, may be used as a basis to establish a penalty, by a Judge, to the person responsible for the crime of injuries.

## INTRODUCCIÓN

**E**n una experiencia biológica, lesión, es cualquier alteración somática o psíquica, que, de una u otra forma, perturbe, amenace o inquiete la salud de quien la sufre, o, simplemente, límite o menoscabe la integridad personal del afectado (Jouvencel, 2002). Médicamente, una lesión es entendida como cualquier alteración anatómica o funcional de un órgano o sistema, ocurrida por mecanismos exógenos o endógenos (Fernández, 2014), sin embargo, desde el punto de vista médico-legal, se entiende como lesión toda alteración física o psíquica causada por un agente externo, el cual puede actuar mediante diferentes mecanismos de producción (mecánico físico, químico, biológico o psíquico); la diferencia esencial entre lo anterior, es que en el concepto médico-legal existe un factor externo atribuible a una persona o a un objeto como productor de la lesión. Gisbert Calabuig (2004), indica que las lesiones, son todas aquellas que, por sí solas, no producen la muerte, sino que sin complicaciones o con ellas evolucionan hacia una curación que puede tener lugar con una "*restitutio ad integrum*"<sup>2</sup> anatómica y/o funcional, o con secuelas que en medida de lo posible deben repararse total o parcialmente. Por otra parte, el artículo 288 del Código Penal Federal mexicano, menciona que "Bajo el nombre de lesión, se comprende no solamente las heridas, escoriaciones, contusiones, fracturas, dislocaciones, quemaduras, sino toda alteración en la salud y cualquier otro daño que deje huella material en el cuerpo humano, si esos efectos son producidos por una causa externa".

El médico, Eduardo Vargas (2012), especifica que las lesiones pueden clasificarse de acuerdo con los siguientes criterios:

1. Anatómico: Es decir, su ubicación en los diferentes segmentos del cuerpo.
2. Agentes que las producen: Agentes físicos (mecánicos, térmicos, eléctricos), químicos o biológicos.
3. Por las consecuencias: Puede ser cantidad y calidad del daño.

Con lo anterior se aclara que, con excepción de los traumatismos por desaceleración, en todos los casos de trauma mecánico, el traumatismo es causado por la transferencia de energía de un objeto externo en movimiento hacia los tejidos. El cuerpo absorbe usualmente esta energía, ya sea por la elasticidad de sus tejidos blandos, o por la rigidez de alguna estructura anatómica. Cuando la intensidad de la fuerza aplicada excede la capacidad de los tejidos de adaptarse o de resistir, se produce el traumatismo. La intensidad de la energía aplicada sigue la ley física de la energía cinética, en donde la energía es directamente proporcional a la masa del agente o arma y directamente proporcional al cuadrado de la velocidad del impacto, e inversamente proporcional a la aceleración de la gravedad (Vargas, 2012). Uno de los traumatismos provocado por agente físico-mecánico son las contusiones, estos son producidos por cuerpos romos, es decir, sin filo.

Las contusiones son las lesiones que se producen cuando un objeto compacto, con o sin movimiento, hace contacto violento con el cuerpo humano, o cuando el cuerpo humano hace contacto violentamente con un objeto fijo. Las lesiones que se producen en el cuerpo humano cuando un objeto en movimiento hace impacto en cualquier región de este se relacionan con la intensidad del golpe. Una contusión en el cuerpo puede producir desde una ligera equimosis hasta el estallamiento de vísceras y fracturas conminutas extensas. Lo mismo puede acontecer cuando es el cuerpo humano el que se proyecta con fuerza hacia un objeto fijo (Trujillo, P. y Trujillo, G., 2015, pág. 117). Es importante señalar que las contusiones no son en su totalidad producidas por un objeto entendido como una cosa material inanimada, puesto que existen aquellas que son producidas por el contacto directo con una parte de otro cuerpo humano o animal, por ejemplo, una contusión como consecuencia de un golpe con el puño, con un pie, ya sea con o sin calzado, con la cabeza, entre otros, por lo que es preferible manifestar que una contusión es provocada por un agente mecánico para englobar todos los

2 Frase en latín, usada continuamente en el argot médico para referirse a una total integración de la salud de un paciente.





**Tabla 1.** Descripción escrita de los dientes superiores de la denunciante**Descripción de dientes superiores (maxilares)**

FDI	Diente	Descripción
18	Tercer molar superior derecho	Ausencia clínica.
17	Segundo molar superior derecho	Presente con caries ocluso-vestibular.
16	Primer molar superior derecho	Presente con restauración oclusal con resina.
15	Segundo premolar superior derecho	Presente con caries oclusal.
14	Primer premolar superior derecho	Presente sin alteraciones visibles.
13	Canino superior derecho	Presente con restauración palatina con resina.
12	Incisivo lateral superior derecho	Presente sin alteraciones visibles.
11	Incisivo central superior derecho	Presente sin alteraciones visibles.
21	Incisivo central superior izquierdo	Presente con fractura horizontal en tercio medio de la raíz.
22	Incisivo lateral superior izquierdo	Presente sin alteraciones visibles.
23	Canino superior izquierdo	Presente con restauración palatina con resina.
24	Primer premolar superior izquierdo	Presente sin alteraciones visibles.
25	Segundo premolar superior izquierdo	Presente sin alteraciones visibles.
26	Primer molar superior izquierdo	Presente con restauración oclusal con resina.
27	Segundo molar superior izquierdo	Presente con restauración oclusal con resina.
28	Tercer molar superior izquierdo	Ausencia clínica.

Fuente: *Elaboración propia.*

medidas fueron efectuadas con un vernier digital calibrado en 0.01mm.

La cavidad bucal se exploró con un espejo bucal No. 5, con pinzas de curación y algodón, con lo que se observó al incisivo central superior izquierdo con movilidad grado 3, con dolor a la palpación y por las condiciones no se realizó percusión. En general, se observa la presencia de veintiocho dientes, la ausencia de cuatro dientes, caries y restauraciones dentales con resina en varios dientes; se detallan en el odontograma<sup>5</sup> anexo (figura 1, tablas 1 y 2).

Después de la exploración se realizó un registro fotográfico de la denunciante que consistió en tomas extraorales e intraorales. Las tomas extraorales se realizaron con la orientación del plano de Frankfort<sup>6</sup> paralelo al plano de sustentación, con los dientes en posición de máxima intercuspidad y con los labios en posición de reposo, obteniendo las siguientes tomas:

1. Norma frontal.
2. Norma lateral derecha.
3. Norma lateral izquierda.
4. Mediano acercamiento del tercio inferior.
5. Gran acercamiento a labio superior, zona central.

5 El formato de odontograma fue tomado del "Protocolo para el tratamiento e identificación forense" de la Procuraduría General de Justicia (2015), y fue modificado con la posición de la nomenclatura FDI.

6 Plano anatómico que pasa por el punto infraorbitario (punto más bajo del reborde inferior de la órbita) y por el porion (punto más alto del conducto auditivo externo).

**Tabla 2.** Descripción escrita de los dientes inferiores de la denunciante**Descripción de dientes inferiores (mandíbula)**

FDI	Diente	Descripción
38	Tercer molar inferior izquierdo	Ausencia clínica.
37	Segundo molar inferior izquierdo	Presente con caries oclusal.
36	Primer molar inferior izquierdo	Presente con restauración oclusal con resina.
35	Segundo premolar inferior izquierdo	Presente sin alteraciones visibles.
34	Primer premolar inferior izquierdo	Presente sin alteraciones visibles.
33	Canino inferior izquierdo	Presente sin alteraciones visibles.
32	Incisivo lateral inferior izquierdo	Presente sin alteraciones visibles.
31	Incisivo central inferior izquierdo	Presente sin alteraciones visibles.
41	Incisivo central inferior derecho	Presente sin alteraciones visibles.
42	Incisivo lateral inferior derecho	Presente sin alteraciones visibles.
43	Canino inferior derecho	Presente sin alteraciones visibles.
44	Primer premolar inferior derecho	Presente sin alteraciones visibles.
45	Segundo premolar inferior derecho	Presente con caries oclusal.
46	Primer molar inferior derecho	Presente con restauración oclusal con resina.
47	Segundo molar inferior derecho	Presente con caries ocluso-vestibular.
48	Tercer molar superior izquierdo	Ausencia clínica.

Fuente: Elaboración propia.

Las fotografías intraorales fueron las siguientes:

1. Mediano acercamiento a región bucal con retractores de carrillos.
2. Acercamiento a región bucal con retractores de carrillos.
3. Gran acercamiento a zona de incisivo central superior izquierdo.
4. Mediano acercamiento, con espejo intraoral, de arcada superior.
5. Mediano acercamiento, con espejo intraoral, de arcada inferior.
6. Mediano acercamiento, con espejo intraoral lateral, de cara vestibular de dientes de hemiarcada derecha, superiores e inferiores en oclusión.
7. Mediano acercamiento, con espejo intraoral lateral, de cara vestibular de dientes de hemiarcada izquierda, superiores e inferiores en oclusión.

Por último, se llevó a cabo la toma de una radiografía oclusal y una periapical, ambas con técnica de paralelismo, para el análisis de la lesión presente que ocasionaba la movilidad del incisivo central superior izquierdo (figura 2).

Como resultado se obtuvo que la denunciante padecía una fractura radicular, horizontal en tercio medio, del incisivo central superior izquierdo.

## DISCUSIÓN DEL CASO

Como se mencionó anteriormente, una contusión puede tener como resultado una fractura; en este caso, las fracturas dentales deben clasificarse de acuerdo con el pronóstico y tratamiento al que tenga que ser sometido, por lo anterior, se detallará el contexto que conlleva la presencia de una lesión dental, ya que un diente dañado perjudica a todo el complejo bucodental. En



**Figura 2.** Radiografía periapical de los incisivos superiores de la denunciante

Fuente: *Elaboración propia.*

este sentido, Adriana Actis (2014), explica que los profesionales de las áreas biomédicas están familiarizados con términos y conceptos como cavidad bucal o sistema masticador, y quizá menos habituados al de “sistema estomatognático” que, por otra parte, es el más apropiado para definir al conjunto de estructuras que actúan de manera integral y coordinada, formando una unidad biológica útil para el desarrollo de fun-

ciones esenciales del ser humano. Así, el sistema estomatognático (del griego *estomato* “boca” y *gnatico* “mandíbula”) constituye la unidad morfofuncional que se localiza a nivel cráneo-cérvico-facial y que es la responsable de ejecutar las funciones de masticación, succión, deglución, fonarticulación y respiración bucal; además, interviene en la expresión facial, contribuyendo a la estética personal. Está constituido por algu-

nos huesos de la cara y del cráneo, el complejo articular temporomandibular, músculos masticadores y algunos faciales o de la mímica, dientes y el tejido periodontal de cada uno, mucosa bucal, glándulas salivales, nervios sensitivos y motores, arterias, venas, vasos y ganglios linfáticos. Arturo Manns (2013) indica que, como en toda estructura biológica, forma y función, están íntimamente ligadas y que el sistema estomatognático no es excepción puesto que fue definido constituyendo una sola unidad biológica y, por tanto, la existencia de armonía o compatibilidad morfofuncional entre todos sus componentes significará salud biológica del sistema, y así, su función normal. Por el contrario, cuando surgen alteraciones en la conformación y/o función de uno de sus componentes, se deberán producir concomitantemente alteraciones en la conformación y/o función de los otros componentes con los cuales está estrechamente interrelacionado (periodonto, articulación temporomandibular o neuromusculatura). En este sistema, existe una armonía en los dientes que lo forman al coincidir en la oclusión, esto es, el contacto de la arcada superior con la inferior al cerrar; esta armonía se rompe cuando las estructuras de uno o varios dientes son dañadas (Riojas, 2009).

Una de las estructuras más importantes del sistema estomatognático son los dientes, y estos son órganos independientes, compuestos por cuatro diferentes tejidos (esmalte, dentina, cemento y pulpa) que en conjunto le dan una consistencia dura de aspecto blanquecino, y se localizan implantados en el borde alveolar de maxilares y mandíbula.

El ser humano, al igual que los mamíferos, presenta una dentición heterodóntica, es decir, de elementos diferentes y no similares entre sí, ya que cada tipo de diente está especializado para una función (los incisivos para cortar, los caninos para desgarrar y los premolares y molares para triturar); también presenta una dentición difiodóntica, o sea, de dos generaciones: una dentición decidua o temporal, que comprende un total de 20 dientes y una dentición definitiva o permanente, de 32 dientes (Santana, 2007). Cada diente consta de 3 partes: la raíz, que es la parte que queda incluida en el hueso, en un espacio llamado alvéolo; la corona, que sobresale del borde alveolar; y el cuello, que es la unión entre la raíz y la corona.

La corona dental esta compuesta por esmalte, dentina y pulpa, por otra parte, la raíz dental esta compuesta por cemento, dentina y

pulpa. A continuación, se describirá, brevemente, cada tejido para un mejor entendimiento:

1. El esmalte es de aspecto vítreo, superficie brillante y translúcido, cubre a manera de casco a la dentina en su porción coronaria, es el tejido más duro del organismo debido a que estructuralmente está constituido por millones de prismas altamente mineralizados que lo recorren en todo su espesor, posee un porcentaje muy elevado (95%) de matriz inorgánica y muy bajo (0,36-2%) de matriz orgánica; los cristales de hidroxiapatita constituidos por fosfato de calcio representan el componente inorgánico del esmalte (Gómez de Ferraris, M. & Campos, A., 2002). El esmalte maduro no contiene células ni prolongaciones celulares, por ello, es considerado como una sustancia extracelular altamente mineralizada; las células que le dan origen no quedan incorporadas a él y por ello el esmalte es una estructura acelular, avascular y sin inervación por lo que, al estar frente a una noxa, reacciona con pérdida de sustancia siendo incapaz de repararse.
2. La dentina es el eje estructural del diente y constituye el tejido mineralizado que conforma el mayor volumen del diente; interiormente la dentina delimita una cavidad, denominada cámara pulpar (en su porción coronal) y conducto radicular (en su porción radicular). En la estructura de la dentina se encuentran dos componentes básicos: la matriz mineralizada y los túbulos dentinarios, que alojan a los procesos odontoblásticos que son largas prolongaciones citoplasmáticas de las células especializadas llamadas odontoblastos. Estas células son las responsables de la formación y mantenimiento de la dentina.
3. La pulpa es un tejido conectivo de la variedad laxa, altamente vascularizado e inervado, constituido por células y matriz extracelular representada por fibras y sustancia fundamental. Sus funciones son varias, entre ellas esté la formación de dentina, así como, la defensa o reparación que consiste en la formación de dentina ante agresiones, además se encarga de nutrir a la dentina a través de las prolongaciones odontoblásticas y de los metabolitos provenientes del sistema vascular pulpar, finalmente, mediante los nervios sensitivos,

responde ante los diferentes estímulos con dolor.

4. El cemento es un tejido conectivo mineralizado, derivado de la capa celular ectomesenquimática del saco o folículo dentinario que rodea al germen dentario. A semejanza del esmalte, el cemento cubre la dentina, aunque sólo en la porción radicular (Gómez de Ferraris, M. y Campos, A., 2002). El cemento no está vascularizado, carece de inervación propia y no tiene capacidad de ser remodelado, por lo general es más resistente a la resorción que el hueso, pero, en cuanto a su dureza es menor que la de la dentina y del esmalte.

Anteriormente, se mencionó que el ser humano presenta una dentición de dos generaciones, la segunda conocida como permanente o de adulto, se compone de ocho incisivos, cuatro caninos, ocho premolares y doce molares; en concreto, por el tema que nos atañe se describe que los incisivos se localizan situados en la parte más anterior de los arcos, tienen forma de pala o cuña, con un borde cortante, forman el primer grupo de dientes anteriores; están constituidos por cuatro incisivos maxilares y cuatro mandibulares, los dos centrales son mayores que los laterales, son dientes con una sola raíz; tienen una función estética y fonética de 90%, y masticatoria de 10%. Su función es cortar los alimentos durante la masticación (Riojas, 2009). Específicamente, el incisivo central superior es un elemento par, existe uno a cada lado de la línea media, su corona es, por lo regular, más larga que cualquiera otra de la arcada superior, y un tanto más larga que la corona del canino o tanto como ella. La raíz es, por lo general, de forma cónica, y se inclina un tanto hacia la porción distal del eje longitudinal del diente; por lo general es una y media a dos veces más larga que la longitud de su corona (Diamond, 2005). El cuello o línea cervical es la base del cono y en la punta se encuentra el ápice donde se halla el foramen apical (Esponda, 2016). Ash, M. y Nelson, S. (2004), indican que la longitud y la forma de la raíz es de suma importancia, ya que, están relacionados con el perfil general del diente para realizar su función específica.

Ahora bien, una lesión dental siempre debe considerarse como una emergencia y se debe tratar inmediatamente para aliviar el dolor, facilitar la reducción (ferulización) de los dientes desplazados y mejorar el pronóstico (Raju, I., Sreedev, et al., 2017). Las lesiones dentales son

producto de agresiones mecánicas (contusiones) que actúan directamente sobre los dientes y/o el hueso que las sustenta, estas lesiones pueden ir acompañadas de un grado variable de lesión sobre los tejidos blandos adyacentes, dichas lesiones se agrupan en fracturas, luxaciones y avulsiones (Carral, 2016). Los traumatismos pueden ser directos, cuando el diente o los dientes son golpeados con un objeto; o indirecto, cuando los dientes inferiores chocan contra los superiores al recibir un golpe en la mandíbula (Malagón B y Malagón-Londoño, 2013).

Los factores que determinan las características de las lesiones son: la fuerza del golpe, la elasticidad y forma del objeto que golpea, el ángulo direccional de la fuerza que golpea, si el trauma es simple o múltiple, y la resistencia de las estructuras de sostén (Herrada, M., Lincoln, L. y Hernández, J., 2012).

Nicolás Carral (2016) refiere que la exploración de un trauma dental debe iniciar con una correcta anamnesis para detallar los tiempos y mecanismos del traumatismo y posterior a esto se realiza una exploración clínica dirigida que consta de:

- **Inspección:** Se realiza para observar el tipo de lesión presente y se hace una búsqueda de heridas en tejidos blandos y de restos de cuerpos extraños.
- **Palpación:** Se toma el diente entre los dedos pulgar e índice para evaluar si existe movilidad dental o crepitación del hueso subyacente.
- **Percusión:** Con el mango de un espejo se da un ligero golpe en el diente, esto en dientes sanos no genera dolor.

Dentro de la exploración clínica se deberá determinar si hay presencia de movilidad dental, por lo que, es importante señalar que en condiciones normales los dientes experimentan movimientos fisiológicos normales en dirección vertical, horizontal y circular. El grado de movimiento natural de un diente depende directamente de su superficie y del diseño de sus raíces. Los factores que condicionan dicho movimiento son: el número de raíces y la longitud de la superficie radicular, el diámetro, la forma y la posición de las raíces, la salud del periodonto y la densidad ósea; todos esos factores influyen de manera decisiva en la movilidad dental. Un diente sano muestra movilidad clínica nula en dirección vertical (Suzuki, J. y Misch, C., 2018). Para establecer si un diente presenta movilidad no natural se realiza una exploración dental con el mango de

dos instrumentos, aplicando presión en sentido vestibulo – lingual/palatino y se clasifica de la siguiente manera:

- **Grado 0:** movilidad fisiológica, 0.1 – 0.2mm en dirección horizontal.
- **Grado 1:** movimiento hasta 1mm en sentido horizontal.
- **Grado 2:** movimiento de más de 1mm en sentido horizontal.
- **Grado 3:** movimiento en sentido horizontal y en sentido vertical (Botero, J. y Bedoya, E., 2010).

Posterior a la determinación del grado de movilidad será fundamental el análisis de una imagen radiográfica, o en un mejor caso, de una tomografía computarizada “*Cone Beam*” de maxilares y mandíbula para establecer el tipo de lesión dental presente.

En el caso de las fracturas dentales deben ser clasificadas de acuerdo con una variedad de factores, tales como, su etiología, anatomía, patología y las consideraciones terapéuticas que sean requeridas, en general, las fracturas son divididas como fracturas de corona y fracturas de raíz con o sin la pulpa involucrada (Alimohamadi, 2018). En cuanto a las fracturas radiculares que involucran cemento, dentina y tejido pulpar, no ocurren frecuentemente y son difíciles de detectar radiográficamente; su ubicación puede darse en tercio cervical, medio o apical de la raíz (Malagón B y Malagón-Londoño, 2013), por esto se recomienda, una toma radiográfica oclusal o, la antes mencionada tomografía, para la localización exacta de la fractura.

El tratamiento y pronóstico de las fracturas de raíz dependerá de la localización de la fractura en la raíz (Piccinini et al, 2016). Las fracturas horizontales del tercio apical son las que tienen mejor pronóstico ya que, generalmente, no hay movilidad, el diente se encuentra asintomático y no requiere tratamiento, gracias a los tejidos periodontales, aún así, es un diente que puede presentar cambios de coloración en un futuro, lo que puede derivar en otros tratamientos en su momento.

Las fracturas horizontales del tercio cervical o gingival debido a la movilidad del fragmento coronario y a la facilidad con que pueden infectarse, tienen pronóstico reservado. El tratamiento inicial consiste en reposicionar el segmento coronal (si está desplazado) y luego la estabilización del diente para permitir la cicatrización del ligamento periodontal que brinda so-

porte al segmento coronal. El grado de luxación y de movilidad del segmento coronal afecta el pronóstico, en virtud de que cuanto más grave es la luxación, menor será la probabilidad de lograr la reducción de la fractura, por lo que, en la mayoría de los casos la vitalidad pulpar se perderá y será necesario un tratamiento de conductos.

Las fracturas horizontales del tercio medio tienen un mal pronóstico por la dificultad de elegir qué fragmento conviene conservar, además de la formación frecuente de bolsas periodontales (Rivas, 2015). Este tipo de fractura normalmente causa dolor y no puede tratarse mediante técnicas conservadoras (Hupp, 2014). El tratamiento dependerá de la vitalidad pulpar, del desplazamiento de los fragmentos y de la locación/extensión de la línea de fractura (Soares, A., et al., 2018).

En algunos casos el segmento coronal es ferulizado para que los tejidos periodontales le vuelvan a dar sosten aunque no contará con vitalidad pulpar, no obstante, el segmento apical sufre una necrosis pulpar, por lo que debe de eliminarse quirúrgicamente (Lieblisch, 2014), esta cirugía se podrá realizar una vez que la porción coronal se encuentre firme y que se le haya realizado el tratamiento de conductos, todo esto puede llevar entre 6 meses y 1 año, en los mejores casos, considerando además, un manejo y cuidado adecuado por parte del paciente. Por otra parte, en la mayoría de los casos, un diente con una fractura radicular, en tercio medio, no tendrá un mejor tratamiento que la extracción total.

Después de tener el diagnóstico y pronóstico de una lesión dental se puede realizar su clasificación legal, por lo que, se analizará y comentará el contenido, sobre lesiones, del Código Penal para el Distrito Federal, que está vigente en la Ciudad de México, y que es usado dentro de esta demarcación geográfica, por lo que la clasificación de lesiones, solicitada por el Ministerio Público, debe referir una de las fracciones del artículo 130 que se localiza en el Capítulo II, “Lesiones” dentro del Título Primero, “Delitos contra la vida, la integridad corporal, la dignidad y el acceso a una vida libre de violencia”, en el que se indica lo siguiente:

*ARTÍCULO 130. Al que cause a otro un daño o alteración en su salud, se le impondrán:*

- I. Se deroga;
- II. De seis meses a dos años de prisión, cuando tarden en sanar más de quince días y

*menos de sesenta;*

- III. *De dos a tres años seis meses de prisión, si tardan en sanar más de sesenta días;*
- IV. *De dos a cinco años de prisión, cuando dejen cicatriz permanentemente notable en la cara;*
- V. *De tres a cinco años de prisión, cuando disminuyan alguna facultad o el normal funcionamiento de un órgano o de un miembro;*
- VI. *De tres a ocho años de prisión, si producen la pérdida de cualquier función orgánica, de un miembro, de un órgano o de una facultad, o causen una enfermedad incurable o una deformidad incorregible; y*
- VII. *De tres a ocho años de prisión, cuando pongan en peligro la vida.*

Analizando las fracciones vigentes del artículo 130, se observa que la fracción II y III, advierten expresamente sobre el tiempo de sanidad de una lesión, esto se podrá inferir cuando los tejidos afectados tengan capacidad de regenerarse, por ejemplo: la piel, un músculo, un hueso, entre otros. En el caso específico de una fractura dental horizontal, en la porción media radicular, se afectan, como ya se dijo, cemento, dentina y pulpa, teniendo dos de tres tejidos incapaces de sanar y que al tener un tratamiento en el que es necesaria la extracción total, en la mayoría de los casos, habrá reabsorción alveolar post-extracción, que es un fenómeno fisiológico que ocurre tras la extracción dentaria, en el cual, la cresta ósea alveolar ve disminuida su altura y anchura original, además de una reducción de la estimulación física del hueso alveolar, produciéndose una reabsorción ósea que es irreversible, crónica y acumulativa (Caridad, F., Torres, L. y Amador, L., 2015). Con lo anterior, se aclara que, en la detención permante, tras una pérdida dental no habrá regeneración del diente, sólo de los tejidos adyacentes a él.

La fracción V versa sobre una lesión que cause disminución en alguna facultad o el normal funcionamiento de un órgano o de un miembro. La palabra “facultad” se refiere a una capacidad o aptitud natural, física o moral que tiene una persona para realizar una cosa. En este sentido, una persona que presenta una fractura dental horizontal, en el tercio medio de la raíz, manifestará forzosamente, una disminución en la facultad de la fonoarticulación y de la masticación. Esto sin poder hacer mención de la disminución

en la estética facial y los padecimientos que se desencadenarán en el sistema estomatognático.

Por último, la fracción VI hace referencia a las lesiones que produzcan pérdida de cualquier función orgánica, de un miembro, de un órgano o de una facultad, o causen una enfermedad incurable o una deformidad incorregible; ahora, si bien es cierto, una fractura dental horizontal, en el tercio medio de la raíz provoca una disminución en la facultad de la fonoarticulación y de la masticación del sistema estomatognático, pero, no provoca la pérdida total de dicha facultad, además hasta cierto punto, las consecuencias de la lesión se pueden corregir por medio una una prótesis dental que puede ser desde una prótesis dento-soportada hasta una implanto-soportada, siempre y cuando se tengan las condiciones de salud y económicas que lo permitan.

## CONCLUSIONES

En conclusión, al caso estudiado, la denunciante tuvo dos lesiones presentes, una laceración en labio superior de 2cm x 0.2cm a una distancia de 0.3cm a la izquierda de la línea media y una fractura dental, horizontal en tercio medio de la raíz. Para la clasificación de lesiones médico-legal se toma en cuenta aquella lesión que por su, diagnóstico, pronóstico y tratamiento es considerada de mayor gravedad, siendo ésta la fractura dental.

Finalmente, la clasificación de la fractura dental, horizontal en tercio medio de la raíz, con base en el artículo 130 del Código Penal para el Distrito Federal, es: Lesiones que disminuyen la facultad de la fonoarticulación y la masticación.

Como reflexión y recomendación, se expresa que además de una clasificación de lesiones, un Ministerio Público o las autoridades competentes para solicitar dicha clasificación, en el área odontológica, debería solicitarse un costo aproximado para la reparación del daño, esto en la mayoría de los casos, sería beneficioso para los lesionados puesto que los tratamientos dentales no son accesibles, económicamente hablando, además que se requiere invertir tiempo que, tal vez, implique dejar de laborar algunos días, lo cual puede, además, representar una pérdida económica.

Por lo anterior se exhorta a conocer y analizar la forma en la que se clasifican las lesiones dentales en otros países, por ejemplo, España, en el que desde hace varios años se utilizan baremos

para expresar el costo que representa la pérdida de un diente. Juan Carrión (2009) menciona que, en dicho país, en el campo de la odontología legal se plantea con frecuencia el cálculo del costo consecutivo a los tratamientos necesarios para reparar una agresión. A efectos prácticos, este costo se calcula teniendo en cuenta los materiales que se han de utilizar y el tiempo que el profesional ha de invertir en cada uno de los casos odontológicos necesarios para completar

dicho tratamiento. Para obtener dichos costos se consulta una tabla en euros, que es revisada y actualizada cada año. Además, se valoran las secuelas dentales y las incapacidades laborales.

Un modelo como el anterior en México beneficiaría a la administración de justicia y facilitaría los procesos por los que deben pasar tanto los denunciados como los responsables del delito.

## REFERENCIAS CITADAS

- Actis, A. 2014. Sistema estomatognático: bases morfofuncionales aplicadas a la clínica. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Alimohammadi, R. 2018. Imaging of dentoalveolar an jaw trauma. *Radiologic Clinics of North America*. 56: 105-124
- Arregui, C. et al. 2011. Biomecánica en la valoración médico legal de las lesiones. Madrid: ADEMÁS comunicación.
- Asamblea Legislativa del Distrito Federal, VII Legislatura. 2016. Código Penal para el Distrito Federal. Obtenido de <http://www.aldf.gob.mx/archivod261f65641c3fc71b354aaf862b9953a.pdf>
- Ash, M. & Nelson, S. 2004. Anatomía, Fisiología y Oclusión Dental (8ª ed.). Barcelona: Elsevier.
- Botero, J. & Bedoya, E. 2010. Determinantes del diagnóstico periodontal. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, 3(2): 94-99.
- Calabuig, G. 2004. Medicina legal y toxicología. Barcelona: Elsevier.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2018. Código Penal Federal. Obtenido de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/9\\_210618.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/9_210618.pdf)
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2017. Ley general para prevenir, investigar y sancionar la tortura y otros tratos o penas crueles, inhumanos o degradantes. Obtenido de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPIST\\_260617.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPIST_260617.pdf)
- Caridad, F., Torres, L. & Amador, L. 2015. De la terapia celular a la regeneración ósea alveolar post-extracción dentaria. *Revista de Ciencias Médicas*, 19(4): 746-754.
- Carral, N. 2016. Traumatismos dentales. La Coruña: Elsevier.
- Carrión, J. 2009. Clasificación del daño bucodental traumático. Posibilidades de reparación y limitaciones funcionales y estética. En A. Santos, Criterios de valoración corporal. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. p. 1-11
- Cartagena, J. et al. 2016. Manual de medicina legal para juristas. Santo Domingo: Ortega S.R.L.
- Diamond, M. 2005. Anatomía dental: Con la anatomía de la cabeza y del cuello. Ciudad de México: Limusa.
- Dogan, M., Callea, M., Kusdhany, L., Aras, A., Maharani, D., Mandasari, M., Adiatman, M. & Yavuz, I. 2018. The evaluation of root fracture with cone beam computed tomography (CBCT): An epidemiological study. *Clin Exp Dent. Journal section: Community and Preventive Dentistry*, 10(1): e41-8.
- Esponda, R. 2016. Anatomía dental. Ciudad de México: UNAM.
- Fernández, E. 2014. Guía práctica de lesiones. Valoración clínica y sus implicaciones legales. Barcelona: Elsevier.
- Gay, C. & Berini, L. 2004. Tratado de cirugía bucal. Barcelona: Ergon.
- Gómez de Ferraris, M. & Campos, A. 2002. Histología y embriología bucodental. Madrid: Médica Panamericana.
- Herrada, M., Lincoln, L. & Hernández, J. 2012. Traumatismos dentales en dentición permanente. *Revista Estomatológica Herediana*, 22(1): 42-49.
- Hupp, J. 2014. Principios de exodoncia simple. En J. Hupp, Cirugía oral y maxilofacial contemporánea. Barcelona:



- Elsevier. p. 88-118.
- Izquierdo, R. 2008. Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte (1ª ed.). Madrid: Médica Panamericana.
- Jared, J. 2015. Facial, Eye, Nasal and Dental Injuries. En *Orthopaedic Sports Medicine*. Saunders. p. 298-309.
- Jouvencel, M. 2002. Manual del perito médico. Fundamentos técnicos y jurídicos. Madrid: Díaz de Santos.
- Lieblich, S., Dym, H. & Fenton, D. 2017. Dentoalveolar surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 75(8): e50-e73.
- Lieblich, S. 2014. Principios de la cirugía endodóntica. En J. Hupp, *Cirugía oral y maxilofacial*. Barcelona: Elsevier. p. 339-362.
- Malagón B & Malagón-Londoño. 2013. Urgencias odontológicas. (4ª). Bogotá: Médica panamericana.
- Manns, A. 2013. Sistema Estomatognático. Santiago: Amolca
- Mese, M., Akcay, M., Yasa, B. & Akcay H. 2015. Multidisciplinary management of complicated crown-root fracture of an anterior tooth undergoing apexification (case report). *Case reports in dentistry*. Vol. 2015. 521013
- Mezquita, C. 2011. Fisiología Médica. Del razonamiento fisiológico al razonamiento clínico. (1ª ed.). Madrid: Médica Panamericana.
- Oregon, T., Sosa, H. & Guerra, J. 2013. El trauma dental en la atención primaria de salud. *Ciencias Médicas*, 17(2): 69-77.
- Piccinini et al. 2016. *Dental and Orofacial Injuries*. Toronto: Elsevier Inc.
- Piroozmand, F., Hessari, H., Shirazi, M. & Khazaei, P. 2018. Autotransplantation and orthodontic treatment after maxillary central incisor region trauma: A 13-year follow-up case report study. *Hindawi. Case reports in dentistry*. Vol 2018. 2039714.
- Procuraduría General de la República. 2015. Protocolo para el tratamiento e identificación forense. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/343413/Protocolo\\_para\\_el\\_Tratamiento\\_e\\_Identificaci\\_n\\_Forense.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/343413/Protocolo_para_el_Tratamiento_e_Identificaci_n_Forense.pdf)
- Quintana del Sola, M., Castilla, M. & Matta, C. 2005. Resistencia a la fractura frente a carga estática transversal en piezas dentarias restauradas con espigo-muñón colado, postes de fibra de carbono y de aleación de titanio. *Revista Estomatológica Herediana*, 15(1): 24-29.
- Quintero, C. 2008. Lesiones orales en el manejo de la vía aérea. *Revista Colombiana de Anestesiología*, 36: 121-132.
- Raju, I., Sreedev., C., Mathew, S., Deepa, N., Karthick, K. & Boopathi, T. 2017. Biological rehabilitation of complex oblique crown-root fracture segment reattachment. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 9(1): s292-s294.
- Revathy, V., Abirami, R. & Abharna, R. 2018. Aberrant root formation - An unreported complication of dental trauma. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 36(2): 216-219.
- Riojas, T. 2009. Anatomía dental. Ciudad de México: El manual moderno.
- Rivas, R. 2015. Traumatología en endodoncia, fracturas de la raíz. Notas para el estudio de endodoncia. UNAM. <https://www.iztacala.unam.mx/rivas/NOTAS/Notas9Trauma/radradicular.html>
- Santana, V. 2007. Anatomía de la cabeza. Madrid: Médica Panamericana.
- Secretaría de Salud. 2011. Manual de procedimientos del Médico Legista en Coordinaciones Territoriales, Ministerios Públicos y Juzgados Cívicos. Ciudad de México. Obtenido de [http://data.salud.cdmx.gob.mx/ssdf/transparencia\\_portal/Archivos/a14f01/Procedimientos%20Medico%20Legista.pdf](http://data.salud.cdmx.gob.mx/ssdf/transparencia_portal/Archivos/a14f01/Procedimientos%20Medico%20Legista.pdf)
- Soares, A., Tulio, A., Westphalen, F., Da Silva Neto, U., Koxalczuck, A., Carneiro, E. & Ditzel, V. 2018. Management of multiple dental trauma: case report with eight-year follow-up. *Iranian Endodontic Journal*, 13(3): 410-412.
- Suzuki, J. & Misch, C. 2018. Complicaciones periodontales y del mantenimiento. En C. Misch, *Complicaciones en implantología oral*. Barcelona: Elsevier. p. 771-826.
- Tortora, G. & Derrickson, B. 2015. Principios de Anatomía y Fisiología. Madrid: Médica Panamericana.

- Trujillo, P. & Trujillo, G. 2015. Medicina forense. Ciudad de México: Alfíl.
- Ugolini, A., Battista, G., Casali, C., Silvestrini-Biavati, A. & Giacinti, F. 2018. Work-related traumatic dental injuries: Prevalence, characteristics and risk factors. *Dental Traumatology*, 34: 36-40.
- Vallejo, M., Maya, C. & Erazo, N. 2011. Resistencia a la fractura de dientes con debilitamiento radicular. *Revista CES Odontología*, 24(1): 59-69.
- Vargas, A. 2012. *Medicina Legal* (4a ed.). Ciudad de México: Trillas.
- Vargas, A., Yáñez, B. & Monteagudo, C. 2016. *Periodontología e implantología*. Ciudad de México: Médica Panamericana.

# 29

## La Antropología Física Forense en Situaciones de Emergencia: 19 de septiembre en la Ciudad de México

Laura Corrales Blanco<sup>1</sup>

Úrsula Berenice Juárez Luna<sup>1</sup>

Leo Ortiz Ruíz<sup>1,2</sup>

Palabras clave: sismo, desastre, identificación humana

### RESUMEN

La aplicación de conocimientos y técnicas de la antropología física es necesaria en todo el proceso que conlleva la respuesta ante desastres, ya que es capaz de asistir a las familias en la búsqueda, recuperación, identificación y devolución de sus seres queridos. En numerosas ocasiones, el antropólogo cumple un papel meramente técnico en laboratorio, pero la experiencia ha demostrado que su presencia en desastres con numerosas víctimas mortales es fundamental. La rápida identificación y pronta devolución de los fallecidos a sus familiares permite que estos inicien el ciclo de duelo. Asimismo, brindar la oportunidad de que sean sepultados según sus creencias y favorece la reconstrucción del tejido social tras una catástrofe de grandes dimensiones.

El sismo del 19 de septiembre de 2017 fue un evento devastador que movilizó y unió a diversas personas de diferentes ocupaciones con el único fin de brindar apoyo para recuperar de entre los escombros, con o sin vida, a sus vecinos, hijos o familiares. El derrumbe del edificio ubicado en calle Prolongación Petén & Eje 7 Sur, Emiliano Zapata, colonia Residencial Emperadores, alcaldía Benito Juárez, puso en marcha la organización de un equipo multidisciplinario para lograr la pronta

---

1 Escuela Nacional de Antropología e Historia. Ciudad de México.

2 Centro Regional de Identificación Humana Coahuila.

pre-identificación de las personas fallecidas, y permitió dar a conocer el trabajo y la importancia de contar con el apoyo de equipos de antropólogos en contextos de desastres masivos en México.

## ABSTRACT

The application of the knowledge and techniques of Physical Anthropology is necessary in every process that involves a disaster response, making it possible to assist the families during the search, recovery, pre-identification and return of their loved ones.

We have been delegated to the osteological analysis for so long, nevertheless, being present in those kind of events in which the community function is disrupted causing human losses that exceed the capacity to cope with the situation, becomes highly important, since the early identification and prompt return of the deceased to their families allows them to start their mourn, so they can bury them appropriately according to their own beliefs and allowing them to rebuild the social fabric.

The earthquake of September 19th, 2017 was a devastating event that mobilized and brought all kind of people together under the sole purpose of providing support to recover from the debris, dead or alive, their neighbors, kids and relatives.

The collapse of the building located in Prolongación Petén 915, corner Zapata, launched a multi-disciplinary response to achieve the early pre-identification of the deceased, making it possible to show the working process and pointing out the importance of counting with anthropology teams in disasters.

## INTRODUCCIÓN

México se sitúa geográficamente en un área complicada al estar enclavado sobre la placa tectónica norteamericana en constante interacción con otras cuatro placas: la de Cocos, la del Caribe, la del Pacífico y con la placa de Rivera, siendo parte activa del Cinturón de Fuego del Pacífico, conocido por tener una alta actividad sísmica y volcánica. Las consecuencias de esto se contabilizan con el alto número de desastres naturales que sufre el país, unido a otros fenómenos como los ciclones o huracanes.

Naciones Unidas (2011) reportó que solo entre 1970 y 2009 más de 60 millones de personas sufrieron las consecuencias de estos desastres, situando a México como uno de los 30 países más vulnerables del planeta, tal y como asegura el Banco Mundial (Dilley, Chen, Deichmann, Lerner-Lam y Arnold, 2005).

El Sistema Sísmico Nacional (SSN, 2017) estableció que en 2017 hubo más de 26,000 sismos de diferentes grados registrados en la República, y el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN, 2012) calcula que en la Ciudad de México se producen aproximadamente cuatro temblores al día de más de tres grados en la escala de Richter.

Para el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 540,067 km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 27% del territorio mexicano, está expuesto directamente a los sismos, afectando al 27% de la población, es decir, a 30 millones de personas (FONDEN, 2012).

La Ciudad de México es uno de los lugares más vulnerables de la República debido a la enorme concentración demográfica que posee y a las características de la propia ciudad, construida en gran parte sobre sedimentos blandos pertenecientes a los lagos sobre los que se levantó la urbe y que tienen un efecto amplificador de las ondas sísmicas.

El sismo más grave reportado en el país fue el del 19 de septiembre de 1985, ocurrido a las 07:17 de la mañana, con una magnitud de 8.1 en la escala de Richter y epicentro en el océano pacífico, a 15 km de profundidad. Al sismo inicial le siguió una réplica que hizo colapsar aún más edificios, ya dañados por el sismo anterior. Diferentes medios como El Universal (Pérez y Casillas, 2015) o la BBC (Nájar, 2017) estimaron que la cantidad de víctimas fallecidas en la ciudad tras el sismo oscilaban entre las 6,000 y 10,000 personas, incluso más, sin tener un conteo final fijo. Hubo un gran número de personas fallecidas que no pudieron ser identificados y fueron enterrados en una fosa común de la ciudad.

A partir de dicha catástrofe surgió la necesidad de crear instituciones y promover medidas para dar más cobertura y poder reaccionar mejor ante desastres de este tipo:

- Se modificaron los criterios de construcción de viviendas de la ciudad para que los edificios fuesen menos vulnerables ante los sismos.
- Se creó el Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX) en 1991, que cuenta con 12 estaciones que detectan los movimientos de las placas y envían una alerta a la ciudad, otorgando alrededor de 60 segundos para la evacuación de las personas.
- Se implementaron simulacros con el objetivo de concientizar a la población sobre las acciones a seguir ante un fenómeno sísmico.
- Se fundó el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).
- Se creó el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC).
- Entró en acción el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES).
- Se crearon las primeras Brigadas de Búsqueda y Rescate en situaciones de desastre, como la Brigada de Rescate Topos Tlatelolco, que lleva operando de manera internacional desde hace décadas.

Treinta y dos años después del sismo del 85, el 19 de septiembre del 2017, a las 13:14 horas, un sismo de 7.1 en la escala de Richter con epicentro en el estado de Puebla azotaba de nuevo la Ciudad de México, a tan solo una hora y cuarto de haber llevado a cabo el simulacro anual en conmemoración del desastre del 85. La cercanía del sismo con respecto a la ciudad (a solo 120 km) hizo que la alarma sísmica no se activase a tiempo, impidiendo que la gente pudiese salir de los edificios donde se encontraban durante los tres minutos que duró el temblor.

Diferentes medios (Aldaz, 2018; El País, 2017; Redacción, 2017; Ureste y Roche, 2017) reportaron un total de 11,495 inmuebles afectados y más de 40 edificios derrumbados que dejaron un balance final de 228 víctimas mortales y miles de heridos.

La respuesta al desastre varió de un lugar a otro, y organismos como la Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal (CDHDF) o la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH) comenzaron a reportar fallas y violaciones a los Derechos Humanos por parte de las autoridades.

La CDHDF (Hernández, 2018) tramitó más de 8,000 expedientes de quejas vinculados a falta de atención, tardanza e incomunicación con familiares y afectados por el sismo y CNDH (2017) recibió 119 quejas entre las que se destacaba la desorganización, la ausencia de atención a las víctimas y fallos en labores de búsqueda y rescate de personas que quedaron atrapadas dentro de los escombros por la falta de protocolos a seguir, sobre todo en los primeros días tras el temblor.

En un comunicado de prensa emitido el 8 de octubre de 2017, CNDH (2017) negó que se hubiesen aplicado protocolos de manejo de cadáveres sobre los cuerpos sacados de los edificios y destacó el caos en la metodología a seguir para su levantamiento y traslado, así como la falta de comunicación y las segundas rectificaciones de procedimientos llevados a cabo entre familiares e instancias.

Las autoridades oficiales encargadas de las distintas zonas de desastre fueron la Secretaría de Defensa Nacional (SEDENA), la Secretaría de Marina (SEMAR), la Policía Federal, Protección Civil y a otra escala distinta las instancias públicas. A ellos se sumaron equipos independientes de brigadistas nacionales y de diferentes países del mundo, como Chile, Israel, España o Japón, entre otros.

El expresidente Enrique Peña Nieto activó el “Plan MX”, diseñado para coordinar la respuesta entre los organismos gubernamentales y los equipos independientes de respuesta ante emergencias, basado en el plan DN-III de la Secretaría de Defensa Nacional, el cual no es completamente público, pero está basado en el auxilio a la población en situaciones de desastre. Los objetivos del plan son reducir tiempos de espera, evitar esfuerzos dobles y poder centrar la atención a los lugares que más lo necesiten (Redacción AN, 2017). A su vez el exjefe de gobierno Miguel Ángel Mancera el día 20 de septiembre mediante decreto, publicó en la Gaceta Oficial de la ciudad de México, la “Declaratoria de Emergencia con motivo del fenómeno sísmico ocurrido el día diecinueve de septiembre de dos mil diecisiete en la Ciudad de México”, donde hace explícito mediante el artículo 7 que “todos los servidores públicos adscritos a las Dependencias, Entidades, Órganos Desconcentrados y Delegaciones del Gobierno de la Ciudad de México, deberán sumarse a las labores de atención a la emergencia que determine el Comité de Emer-

gencias de Protección Civil, en los términos de la normatividad aplicable”.

Por otro lado, la “Estrategia de preparación y respuesta de la Administración Pública Federal, ante un sismo o tsunami de gran magnitud”, o lo que se conoce como el “Plan Sismo” (2011), surgió precisamente para actuar de manera coordinada ante una catástrofe, auxiliando a la población y aunando los esfuerzos del gobierno y de la sociedad para realizar el trabajo en el menor tiempo posible.

Aun así, cada zona de desastre fue coordinada de manera diferente y en algunos edificios derrumbados las autoridades oficiales no llegaron hasta pasados varios días. Esto llevó a que grupos de voluntarios de áreas sanitarias comenzasen a tomar el mando en las labores de atención a víctimas en los lugares de desastre, organizando triajes totalmente independientes, sin una metodología estipulada y basados en experiencias propias.

No se sabe cómo se coordinó la recuperación y traslado de los cadáveres en cada edificio, ya que dependía del organismo que estuviese en cada lugar, pero no todos fueron llevados al Instituto de Ciencias Forenses de la Ciudad de México (INCIFO) para su identificación y devolución a los familiares. En edificios como la Textilería de la Calle Bolívar con Chimalpopoca, los

cuerpos eran sacados de los escombros y enviados directamente al INCIFO, sin que se avisara a los familiares, que llevaban días esperando noticias de sus seres queridos. Por otra parte, hubo malentendidos y cruces falsos de información, asegurando que había víctimas que salían con vida de los escombros cuando no era cierto, lo que incrementaba la angustia de las personas que esperaban noticias y generaba confusión. Todas estas quejas se plasmaron en los reportes de las comisiones de Derechos Humanos (CNDH, 2017; Hernández, 2018).

### EDIFICIO PROLONGACIÓN PETÉN 915, ESQUINA EMILIANO ZAPATA

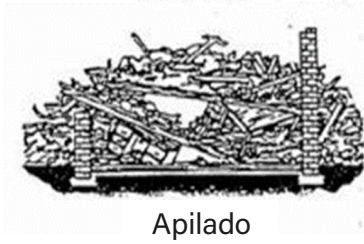
El bloque de viviendas situado en la Colonia Emperadores de la Ciudad de México (figura 1) constaba de seis pisos, con un total de 12 departamentos y una tintorería más garaje en la planta baja. Según testigos del derrumbe, el edificio colapsó 50 segundos después de comenzar el sismo dejando un total de once desaparecidos (Acosta, 2017).

Este colapso fue por apilamiento (figura 2), puesto que la estructura estaba compuesta por un armazón de concreto, la cual hacía que los pisos fuesen muy pesados en comparación con las paredes que lo sostenían (USAID, 2006). En



Figura 1. Vista desde Google Maps, edificio Prolongación Petén 915, Esquina Emiliano Zapata

Fuente: Google Maps



**Figura 2.** Colapso por apilamiento

Fuente: Usaid 2006

cuanto la estructura falló, unos pisos cayeron sobre los otros. Debido a que había una tintorería con un tanque estacionario de gas operando cuando se produjo el derrumbe, se sospechaba fuga de gas y liberación de sustancias químicas debido a los materiales con los que se trabajaba (figura 3).

La noticia del colapso llegó rápidamente a las redes sociales movilizando a cientos de personas que acudieron durante todo el día a ayudar con las labores de desescombro. Al cabo de unas horas, y debido a la ausencia de autoridades competentes en el lugar, dos médicos voluntarios convencieron a los dueños de una concesionaria situada frente del derrumbe de dejarles el es-

pacio para poder situar un triaje hospitalario de atención a las víctimas.

El concesionario quedó dividido en tres zonas de triaje: la roja para pacientes de atención inmediata, la amarilla para las urgencias y la verde para pacientes que no sufrían heridas de gravedad. Además, se dispuso un área negra para la recepción de personas sin vida, una zona de acopio de medicamentos y, en la parte posterior del concesionario, un lugar destinado a los familiares y personas que perdieron su casa, para su reposo y el almacenamiento de objetos recuperados en el derrumbe (figura 4).

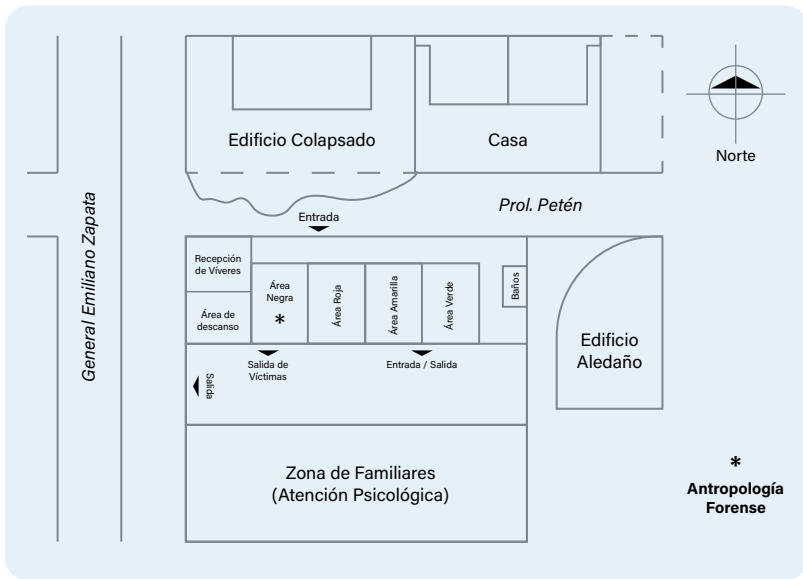
A lo largo de la primera noche llegaron los equipos de Protección Civil, más personal médico, psicólogos y brigadistas Topos SAR.

Una de las primeras tareas fue la de recopilar información sobre las víctimas que se habían quedado atrapadas entre los escombros. De las cinco personas que lograron salir del edificio antes de que colapsara, uno de ellos era el conserje, el cual dio indicaciones a Protección Civil sobre las distribuciones de las viviendas, las personas que estaban dentro del edificio cuando se produjo el sismo e incluso señaló que tres de ellas se habían quedado a pocos metros de salir. Otro testigo aseguró que había visto como uno de los trabajadores de la tintorería había recibido una llamada a su celular y volvió a entrar



**Figura 3.** Edificio colapsado Prolongación Petén 915, Esquina Emiliano Zapata

Fuente: fragmento de videoaficionado



**Figura 4.** Croquis del triaje realizado en colapso de edificio colapsado Prolongación Petén 915, Esquina Emiliano Zapata

Fuente: Elaboración propia

para apagar las calderas, momentos previos a la caída del edificio.

Con esta información, Protección Civil elaboró un mapa del inmueble, señalizando los posibles lugares donde encontrar a las víctimas, teniendo en cuenta que todas parecían haber intentado salir del edificio, por lo que deberían encontrarse en las escaleras, o algunos pisos por debajo de dónde vivían.

Durante esas primeras horas se pudo establecer contacto con el trabajador de la tintorería, que había quedado sepultado, pero seguía con vida y estaba consciente. Debido a que todo el edificio había caído sobre el negocio, era imposible acceder a él, por lo que se debía esperar a la remoción de las estructuras superiores, sin poder introducir maquinaria pesada para evitar dañar a posibles supervivientes o a los cuerpos sin vida de los desaparecidos. Al día siguiente fue imposible reestablecer contacto con la víctima, presumiendo su muerte.

Las tareas de búsqueda y rescate continuaron sin cesar al mismo tiempo que el triaje funcionaba, recibiendo sobre todo a civiles vo-

luntarios que sufrían alguna lesión tras horas desescombrando.

La mañana del 20 de septiembre, los estudiantes de antropología física fuimos al derrumbe de la textilería de Bolívar con Chimalpopoca para aplicar fichas AM a los familiares de los desaparecidos. En ese derrumbe pudimos ser testigos de cómo se trasladaban a las víctimas, mortales o no, a los servicios médicos forenses y hospitales sin dar información a los familiares, que, pese a que sabían que se estaban llevando a alguien en ambulancia, no podían obtener información alguna sobre su identidad o dónde poder ir a consultar los datos para corroborar o descartar que era su desaparecido.

Volvimos a Petén el 21 de septiembre a medio día, cuando ya habían extraído a cinco personas sepultadas entre los escombros, tres de ellas fallecidas (figura 5). Dando por sentado que cada hora que pasaba las probabilidades de encontrar a alguien con vida disminuían y buscando evitar la experiencia previa vista en Chimalpopoca, se conformó el área de pre-identificación, con la finalidad de establecer un paso





**Figura 5.** Momento de extracción de una víctima

Fuente: periódico *El Economista*

previo a la identificación oficial médico-legal por parte de la autoridad o instituto competente, buscando dar una pronta respuesta a los familiares a la hora de tener información sobre la posible identidad de sus seres queridos.

Se llegó a un acuerdo con todo el triaje médico y con las autoridades pertinentes, y se procedió a establecer un depósito temporal para el almacenamiento de las víctimas mortales, denominada área negra.

## DESASTRES MASIVOS Y LA IMPORTANCIA DE LA IDENTIFICACIÓN HUMANA

Cada desastre masivo es único y requiere respuestas diversas dependiendo del lugar dónde se produzca y de los especialistas disponibles para actuar inmediatamente, así como de la coordinación que haya a nivel gubernamental para la contención y solución de estos.

Se considera un desastre masivo a cualquier evento natural o provocado que tenga como consecuencia un elevado número de víctimas que deben ser identificadas médico-legalmente (Cattaneo, De Angelis, y Grandi, 2010).

La Guía de Identificación de Víctimas de Desastres (2014) de Interpol divide los desastres en dos: abiertos o cerrados.

Un desastre abierto es aquel en el que hay un número desconocido de víctimas cuya identidad no se puede saber debido a que no hay registro de las personas que se encontraban en dicho lugar en el momento del accidente, como, por ejemplo, un ataque terrorista en plena calle.

La diferencia con el desastre cerrado es que este último se produce en un lugar donde se cuenta con datos sobre las personas que estaban en el momento del evento catastrófico, como un avión que se estrella y tiene una lista de pasajeros; en ocasiones podemos encontrar una combinación de ambos tipos.

En Petén, asistimos a un área de desastre cerrado, ya que sabíamos qué personas se encontraban dentro del inmueble en el momento en el que este se desplomó. Normalmente en estos casos es más sencillo tener acceso a las familias de los afectados, ya que se dirigen directamente a la zona del desastre, por lo que la obtención de datos sobre desaparecidos es más rápida y no se complica tanto como en un desastre abierto.

Interpol divide el proceso de identificación humana en cuatro fases:

1. Escena o recuperación de restos en el área de desastre.
2. Post Mortem o examen de los restos en una morgue.
3. Ante Mortem o recopilación de información sobre desaparecidos.
4. Reconciliación o comparación de datos AM/PM para identificar correctamente a las víctimas.

Los expertos que deben operar en éste área son muy numerosos ya que siempre debe haber coordinadores, especialistas en respuestas de emergencias, unidades de rescate, unidades de investigación o equipos forenses, entre otros.

En lo que compete al área forense, el equipo especialista se debe componer de:

- Patólogo Forense.
- Odontólogo Forense.
- Experto en Huellas.
- Biólogo Forense / Genetista.
- Antropólogo Forense.

A parte de ellos, también se recomienda contar con otros especialistas como fotógrafos, radiólogos, equipos de recolección de evidencias, oficiales de personas desaparecidas y demás personal capacitado en el ámbito forense en este contexto.

Normalmente hay un equipo que se encarga de llevar a cabo las entrevistas ante mortem a los familiares o conocidos de los desaparecidos. Su labor fundamental es la de recopilar información sobre la persona. Esta información hace referencia a características físicas, datos médicos, dentales y muestras biológicas (Corder, Woodford, y Basset, 2011). Información adicional sobre joyas, tatuajes, perforaciones o la ropa que llevaba la última vez que se le vio con vida, son de vital importancia para componer el perfil que se procederá a comparar con los datos post mortem de las víctimas.

Organismos como Interpol (2013) o Cruz Roja Internacional (2013) cuentan con fichas predeterminadas que pueden rellenarse en papel o en programas de ordenador, aunque el uso de una u otra herramienta dependerá en gran medida de las características del desastre y de la disponibilidad de uso de aparatos informáticos.

La información de las fichas se coteja con la obtenida en la morgue por el equipo forense (Interpol, 2013). La identificación de las víctimas, siguiendo el protocolo de Interpol (2014) se hará por diferentes vías:

- **Identificación visual:** no es recomendable que las familias se enfrenten a una identificación de este tipo para evitar mayor estrés.
- **Examen externo del cuerpo:** observar rasgos físicos (color de ojos, altura, peso etc.) y marcas visibles (lunares, manchas, tatuajes, perforaciones etc.). Este trabajo lo lleva a cabo el patólogo forense.
- **Examen interno del cuerpo:** la autopsia en busca de cicatrices quirúrgicas, implantes, condiciones médicas preexistentes o embarazos en el caso de las mujeres; la lleva a cabo el patólogo forense.
- **Odontología:** Datos anatómicos, patológicos o fisiológicos de las víctimas son recogidos por los odontólogos forenses mediante el examen de la cavidad bucal.
- **ADN:** Normalmente usado como complementario en las técnicas de identificación. Su eficacia depende del estado de los cuerpos o de la contaminación que pueden presentar por agentes biológicos. El precio de los análisis suele ser elevado, por lo que no siempre será posible efectuarlos. La toma de muestras se hará por el genetista.
- **Huellas:** Este análisis es de gran utilidad debido a la persistencia post mortem de la dermis y epidermis. Se pueden tomar en dedos, planta de los pies y palmas de las manos. Los expertos en huellas son los encargados de llevar a cabo este trabajo.
- **Efectos personales:** Encontrar objetos, ropa, o accesorios que pertenecían a las víctimas cerca de los cuerpos puede ser de ayuda para la posible identificación del cadáver.

El antropólogo forense tiene la labor de asistir en la elaboración de las fichas ante mortem recopilando datos que permitan registrar variables biológicas del desaparecido, así como obtener información sobre patologías que puedan afectar al hueso, patrones de fracturas etc. También debe colaborar estrechamente con los radiólogos para la estimación del perfil biológico y la interpretación de las radiografías.

En caso de que el desastre tenga como consecuencia la dispersión y mezcla de restos humanos, la tarea del antropólogo es la de separar los restos, individualizarlos o incluso diferenciar si el tejido o los restos óseos son humanos o animales.

Tras el atentado del 11 de septiembre del 2001 en Nueva York, una de las tareas de los antropólogos forenses fue diferenciar los fragmentos óseos de los restos de las víctimas con los huesos de animales que estaban en las cocinas de los restaurantes aledaños a las torres y que fueron afectados igualmente por el desastre (Mundorff, 2012).

Finalmente, los datos de ambas fichas son cotejados en el proceso de reconciliación y si hay una identificación positiva de la víctima se procede a la comunicación con los familiares.

## OTROS PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN

Las brigadas de rescate suelen recurrir a las Guías de INSARAG (2015) a la hora de enfrentarse a un sismo. Bajo la tutela de las Naciones Unidas, INSARAG está conformado por 80 países que han homologado una metodología de aplicación internacional para actuar en dichos desastres, siempre con un fin humanitario, basado principalmente en la búsqueda, localización y rescate de víctimas vivas.

Precisamente por eso, la presencia de los equipos forenses no es relevante en las guías, aunque se define el marco de actuación del área médica a través de un triaje (figura 6) en el que se añade un área negra, para pacientes *exitus*, término que se refiere a la expresión latina *exitus letalis*, haciendo referencia a las personas fallecidas (Universidad de Navarra, 2015).

Más centrado en el tema que aquí compete, en el año 2011 se publicó en la Ciudad de México el “Acuerdo de Coordinación Interinstitucional para el Manejo de Cadáveres en Caso de Siniestro” (2011), una ley local en vigencia que propone coordinar a las diferentes entidades administrativas en casos de desastre para lograr la identificación temprana de los cadáveres y restos humanos, su entrega o su disposición final en caso de no poder identificarlos, siempre actuando bajo una garantía jurídica y evitando riesgos sanitarios para la población.

Para ello, durante el levantamiento de los cadáveres y su disposición en sitios de acopio (cinco centros dispuestos en distintas delegaciones de la ciudad), se deben rellenar una serie de documentos de carácter legal antes de su traslado a los servicios médicos forenses:

- **Acta especial de cadáveres:** El Ministerio Público en turno debe levantar el acta de que se ha encontrado una víctima mortal o restos de un cuerpo.
- **Cédula de identificación:** El primer registro del cadáver, realizado por personal de la Secretaría de Salud o por miembros de la Procuraduría General de Justicia.
- **Ficha técnica de identificación:** Con características básicas del cadáver, así como toma de huellas, rellenado por trabajadores de la Coordinación General de Servicios Periciales.



Figura 6. Organigrama triaje de INSARAG

Fuente: Elaboración propia

Además, hay que expedir los certificados de defunción y se prohíbe inhumar a las víctimas sin que un juez del Registro Civil esté presente en el lugar y lo autorice.

El acuerdo no detalla qué pasos hay que seguir en el caso de que el siniestro rebase por completo la capacidad de las autoridades locales.

En 2011 también se publicó la “Estrategia de preparación y respuesta de la Administración Pública Federal ante un sismo o tsunami de gran magnitud” o “Plan Sismo” (2011), por parte de la Coordinación General de Protección Civil y la Secretaría de Gobernación.

El objetivo primordial del plan es el de auxiliar a la población a nivel nacional en caso de situación de desastre, mediante la prevención, auxilio y recuperación del entorno siniestrado y por ende de la población afectada.

Aquí, el grupo de búsqueda y rescate, bajo el mando de la Secretaría de Defensa Nacional y la Secretaría de Marina, tiene como una de sus muchas funciones, controlar los censos de supervivientes y de fallecidos durante el desastre.

El área sanitaria se encargará de la elaboración y ejecución de diversas acciones que garanticen la salud y eviten riesgos de infección en la población, así como de la coordinación y el traslado de las personas fallecidas a los centros de almacenamiento que se establezcan en la ciudad.

Más allá de estas directrices no hay nada que haga referencia al papel de los equipos forenses.

Un año después se publicó la Ley General de Protección Civil (2012), reformada en enero del 2018 con el objetivo de brindar protección a la sociedad y su entorno a corto, mediano y largo plazo en caso de que ocurra un fenómeno disturbador. Aquí aparece la posibilidad de que una emergencia rebase por completo a las autoridades municipales, por lo que en última instancia se puede recurrir a las instituciones federales para que actúen dentro del marco jurídico disponible. Sin embargo, no existe un apartado apropiado en materia de identificación humana tras una declaratoria de desastre, ni se aclara la función de las instituciones (PGR, PGJ, INCIFO, SEMEFO) o de los especialistas encargados de suplir dichas funciones. Se asume que Marina y la Secretaría de Seguridad Nacional son los responsables primarios de la búsqueda y rescate de víctimas, pero no se dedica ningún lugar a ex-

plicar cómo actuar en caso de que sea necesario extraer víctimas mortales.

En el año 2015 la Secretaría de Gobernación y el Consejo Nacional de Protección Civil lanzaron el “Plan Nacional de Respuesta”, más conocido como el “Plan MX” (2015) para poder dar directrices inmediatas a una situación inminente de riesgo, con el objetivo de salvaguardar la vida e integridad de las personas, articular acciones en materia de protección civil aprovechando los recursos humanos y materiales disponibles y mejorando el tiempo de respuesta. Dicho plan va de la mano con otras iniciativas como el Plan DN-III de Auxilio a la Población en caso de Desastres de la Secretaría de Defensa Nacional o con el Plan Marina de Auxilio a la Población en Casos y Zonas de Emergencia y/o Desastre de la Secretaría de Marina, entre otros.

La única referencia que se hace al trabajo del área forense en estos casos reitera la necesidad de implementar y aplicar protocolos forenses sobre manejo masivo de personas fallecidas, así como de preservación de restos o del uso de los servicios forenses de urgencia en caso de que sea necesario.

La Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH) publicó en 2017 un documento titulado “Directrices de Actuación de la CNDH ante Situaciones de Desastre por Sismos de Gran Magnitud” para dar indicaciones de actuación dirigidas a los tres órdenes de gobierno con la finalidad de proteger, garantizar y respetar los derechos humanos y respetar la vida de los afectados por dichas catástrofes, considerado necesario tras las quejas levantadas ante el gobierno por parte de familiares y afectados por el sismo.

Aquí, la Ley General de Víctimas (2017), pese a no haber sido creada para solventar problemas en casos de desastres, se debe aplicar cuando haya un incumplimiento por parte del Estado al momento de garantizar la protección de los Derechos Humanos básicos, ya sea por acción o por omisión de las autoridades. La falta de planificación y de actuación inmediata ante un desastre puede ser incluso más peligrosa que el propio desastre en sí (CNDH, 2017).

Dentro de las directrices que otorga la Comisión Nacional, se establece que la recuperación de víctimas vivas o muertas sea competencia de los equipos de salvamento, búsqueda y rescate, siempre brindando un trato digno a las personas fallecidas recuperadas. Además, las familias deben estar al corriente de todo lo que

ocurre con sus seres queridos en términos de estado y localización de estos. La información que reciba la sociedad debe ser veraz y clara. El área de sanidad debe encargarse de tener un censo completo de todas las personas que hayan sido rescatadas y trasladadas a hospitales, así como de los cuerpos o restos humanos recuperados. Las personas fallecidas no identificados deben ser preservadas por las autoridades sanitarias hasta que se agoten todas las vías posibles que permitan establecer su identidad.

## RESPUESTA AL DESASTRE EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Con el paso de las horas tras el sismo, los medios se hicieron eco del caos y desorganización a la hora de actuar en los edificios derrumbados, sobre todo en referencia a las labores de rescate de personas sepultadas y las de revisión de inmuebles, así como a la desinformación generalizada (Brandoli, 2017a, 2017b; Riquelme, 2017). Al no haber autoridades competentes que aplicaron los protocolos en las zonas de desastre, los civiles tomaron las riendas de la situación y comenzaron a organizarse, lo cual desató numerosas críticas.

Ante el cuestionamiento de cómo se habían organizado las diferentes instancias gubernamentales, en enero del 2018 la Secretaría de Salud del Gobierno de la Ciudad de México publicó un artículo sobre cómo se gestionan las respuestas en cuestiones de salud tras un sismo (Ahued- Ortega, 2018).

En dicho escrito se hace referencia a la coordinación interinstitucional entre autoridades, con un despliegue total de 51 ambulancias, el establecimiento de un centro de operaciones de emergencia, triajes en zonas de desastre, controles de insumos y el abastecimiento de la red hospitalaria para la contingencia del desastre.

Un centro operativo central se encargó de procesar la información de las unidades hospitalarias que recibieron heridos, dándoles seguimiento a los mismos. Además, se dio apoyo a los hospitales y se hizo entrega de los reportes de personas desconocidas al Centro de Atención a Personas Extraviadas y Ausentes (CAPEA).

Se entregaron un total de 132 actas de defunción en el momento y se dispuso de diversos anfiteatros, algunos de ellos móviles, como, por ejemplo, el que se estableció en los alrededores

del Multifamiliar de Tlalpan, para el traslado de las víctimas mortales.

Todas las labores que se hicieron durante las jornadas siguientes al sismo estuvieron coordinadas con Ministerios Públicos y la Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México.

La Coordinación Nacional de Protección Civil también lanzó un reporte a un mes del sismo (Coordinación Nacional de Protección Civil, 2017) para informar sobre las acciones implementadas tras el sismo, donde se resalta la coordinación con diferentes entidades, enlaces entre salas de crisis y centros de operaciones de emergencia; coordinación de 400 rescatistas nacionales e internacionales bajo un puesto de comando en el Centro Nacional de Alto Rendimiento (CNAR).

Pese a esto, las quejas por parte de la ciudadanía continuaron, destacando las que tenían que ver con el manejo de la información sobre los desaparecidos y todas las medidas que se dieron para justificar la entrada de maquinaria pesada tras las primeras 72 horas del desastre.

No se contaba con una lista oficial de personas rescatadas, ni INCIFO aportó información sobre desaparecidos. Los familiares sintieron que se les estaba negando la información y que el trato recibido por parte de las autoridades era injusto.

Muchas de las zonas de desastre organizadas por civiles fueron tomadas días después por Protección Civil, Marina o la Secretaría de Defensa Nacional, que establecieron medidas de suspensión de búsqueda y rescate de personas vivas sin que hubiese un consentimiento por parte de los afectados, impidiendo que éstos pudiesen seguir buscando (Orizaga, 2017).

## DIVISIÓN DEL TRABAJO EN PETÉN

Para llevar a cabo el análisis del trabajo realizado en Petén por el Área de Pre-Identificación Humana, se usaron las fases de Interpol (2014).

### Escena

Las labores de búsqueda y rescate de personas comenzaron desde las primeras horas después del sismo. Los médicos civiles fueron los primeros en organizar el espacio de atención a víctimas y los voluntarios comenzaron las tareas de desescombro.

Durante la tarde y principios de la noche acudió Protección Civil y un grupo de brigadistas Topos SAR, que tomaron el mando del “área caliente”, entendida esta como el lugar del desastre. La concesionaria quedó a cargo de los dos médicos que comenzaron con el triage y atención de víctimas. Poco a poco los familiares de desaparecidos fueron llegando y se instalaron en la parte posterior de la concesionaria.

Durante las primeras 48 horas salieron cinco personas que habían quedado atrapadas: dos supervivientes, que fueron llevados de urgencia al Hospital Xoco de Coyoacán y tres fallecidos.

Los antropólogos llegamos al área del desastre por segunda vez el jueves 21 de septiembre a medio día. La Secretaría de Marina estaba a cargo de la zona del derrumbe, pero los médicos seguían teniendo el mando en el triaje de la concesionaria. Se procedió a montar el depósito temporal de cadáveres con los insumos que nos fueron proporcionados a través de donaciones. La ubicación de la morgue se diseñó para que tuviese un acceso de entrada y otro de salida, pudiendo trasladar los cuerpos lo más rápidamente posible y sin llamar demasiado la atención, ya que los medios de comunicación estaban al pendiente de la salida de los cadáveres, para dar cobertura nacional al desastre.

Las cristalerías del área destinada como depósito fueron cubiertas con telas buscando privacidad para el trabajo de pre-identificación y se improvisaron paredes con cuerdas y sábanas. Al no tener mesas o camillas, se colocaron bolsas negras sobre el suelo con el fin de depositar los cadáveres cuando ingresasen en el laboratorio improvisado. El acceso solo estaba permitido a los médicos coordinadores y a los antropólogos, aunque los observadores de Derechos Humanos pudieron entrar al área.

Mientras los trabajos de rescate de víctimas continuaban, hubo que evacuar varias veces la zona por riesgo de explosión al haber sustancias químicas e incendios que parecían provenir del área de la tintorería.

A las 72 horas del desastre se dio por finalizada la búsqueda de las víctimas con vida. Debido a las características arquitectónicas del edificio se procedió a ingresar maquinaria pesada para remover las enormes placas de concreto que componían los techos y suelos del edificio y así poder trabajar con mayor rapidez. La Secretaría de Defensa Nacional llegó a las inmediaciones

del edificio colapsado y tomó el control del área del desastre y parcialmente de la concesionaria, haciendo ajustes de personal y reduciendo la plantilla de voluntarios médicos y antropólogos. Esto desencadenó quejas por parte de los familiares y profesionales debido a la implementación de nuevas directrices que no fueron bienvenidas, sobre todo con relación a la disminución de gente operativa en el área médica que pudiese estar preparada para una emergencia.

A inicios del sábado 23 de septiembre extrajeron dos cuerpos; durante la noche del 23 al 24 de septiembre otros tres; y finalmente, a las 05:00 horas aproximadamente de la mañana del domingo 24 de septiembre se localizó el último cuerpo sin vida de los escombros.

Todos ellos fueron levantados por brigadistas Topos SAR, amortajándolos con sábanas o metiéndolos en bolsas para cadáveres, dependiendo de la disponibilidad de uno u otro material. Las extracciones se hicieron cubriendo el área con sábanas para evitar que los medios o familiares tuviesen contacto visual con las personas fallecidas y el traslado se hizo directamente a la zona de Pre-Identificación.

### *Post Mortem*

Se contaba con 20 minutos para realizar el examen externo y la catalogación de efectos personales de las víctimas, previo a su traslado a los servicios médicos forenses o al INCIFO.

Hubo dos extracciones múltiples, una de dos personas y otra de tres, por lo que se hicieron grupos de tres antropólogos: uno que rellenaba la ficha Post Mortem y dos que inspeccionaban los cadáveres. No se manipularon los cuerpos ni se removieron objetos. Solo se detallaron las características observables y se hicieron anotaciones sobre prendas o accesorios que pudiesen ayudar con la identificación.

Tanto las fichas AM como PM fueron versiones reducidas de las establecidas oficialmente, buscando adaptarse a los tiempos dados por las autoridades al mando en el momento de las extracciones, que exigían un trabajo rápido y un traslado casi inmediato de los cuerpos, ante la preocupación de los familiares que no tenían acceso a ningún tipo de información sobre sus desaparecidos.

Los cuerpos recuperados estaban en diferentes estados de descomposición: uno presentaba Rigor Mortis, cuatro estaban en fase cromáti-

ca y otro ya había llegado a la fase enfisematosa. Todos los cadáveres presentaban aplastamiento generalizado del cuerpo con exposición de vísceras, siendo las víctimas sepultadas en los pisos superiores las que más traumatismos tenían, sobre todo a nivel craneal y de extremidades, tanto superiores como inferiores. Cuatro de los fallecidos tenían más de 60 años al momento de la muerte; los otros dos estaban entre los 50 y los 40 años.

Se anotaron características físicas, como el color del cabello, de ojos o el tipo de calvicie que presentaban las víctimas. Marcas en la piel, el color de uñas o algún tipo de maquillaje permanente también fue descrito, así como prendas y objetos que llevaban consigo en el momento de la muerte. Por ejemplo, uno de los cuerpos llevaba un mandil con la bandera australiana comprado directamente en Australia, ya que tenía un sello oficial. Otro de los cadáveres tenía las cejas tatuadas permanentemente. Estos datos fueron de suma importancia a la hora de hacer la confronta en la fase de reconciliación.

El traslado de los cuerpos fue diferente dependiendo del momento de su extracción. Los dos primeros que se extrajeron el sábado por la mañana fueron trasladados por las ambulancias puestas a disposición en el área, previo llenado de la Cadena de Custodia, para poder seguir la trazabilidad de los cuerpos y verificar que no hubo ningún tipo de manipulación ni pérdida de información. Durante las últimas extracciones, peritos oficiales de la Procuraduría aparecieron en la escena para llevar a cabo su trabajo. Tras la tarea de pre-identificación de los antropólogos, accedieron a la morgue temporal y tomaron fotografías de las víctimas siguiendo sus protocolos y, previo llenado de la Cadena de Custodia, se llevaron los cuerpos y toda la información recolectada por el equipo antropológico para su traslado a INCIFO.

### Ante Mortem

Al contrario de lo que ocurrió en otros lugares como la Textilería de Bolívar con Chimalpopoca, donde los antropólogos fuimos los que llenamos los formatos Ante Mortem y luego enviamos la información a INCIFO y a Cruz Roja; en Petén los médicos coordinadores establecieron directrices claras sobre la necesidad de no acercarse a los familiares ni establecer contacto con ellos por parte de toda el área médica, en especial del área negra.

Las fichas AM fueron rellenas por los psicólogos que dieron seguimiento a los familiares y afectados que se encontraban en la parte trasera del concesionario, y no se tuvo acceso a ellas hasta la etapa de reconciliación.

### Reconciliación

Debido a que se contaba con la información precisa de las personas que quedaron sepultadas, se podía presuponer, según el número de víctimas extraídas en un mismo lugar y basándose en el nivel del edificio en el que se encontraron, quienes eran, por lo que la información extraída de los cadáveres servía para terminar de confirmar o descartar la identidad de estas.

Supuestos testigos aseguraron que dos de las personas que presuntamente quedaron atrapadas tras el derrumbe habían salido, una por su propio pie y otra rescatada y trasladada a algún hospital de la ciudad, sin que los familiares fuesen avisados, por lo que urgía identificar todos los cuerpos *in situ*, en caso de ser posible, para evitar más confusión entre las familias y autoridades, que tenían miedo de que se llevaran a sus familiares sin avisarles y tuviesen que esperar días o semanas hasta saber su paradero.

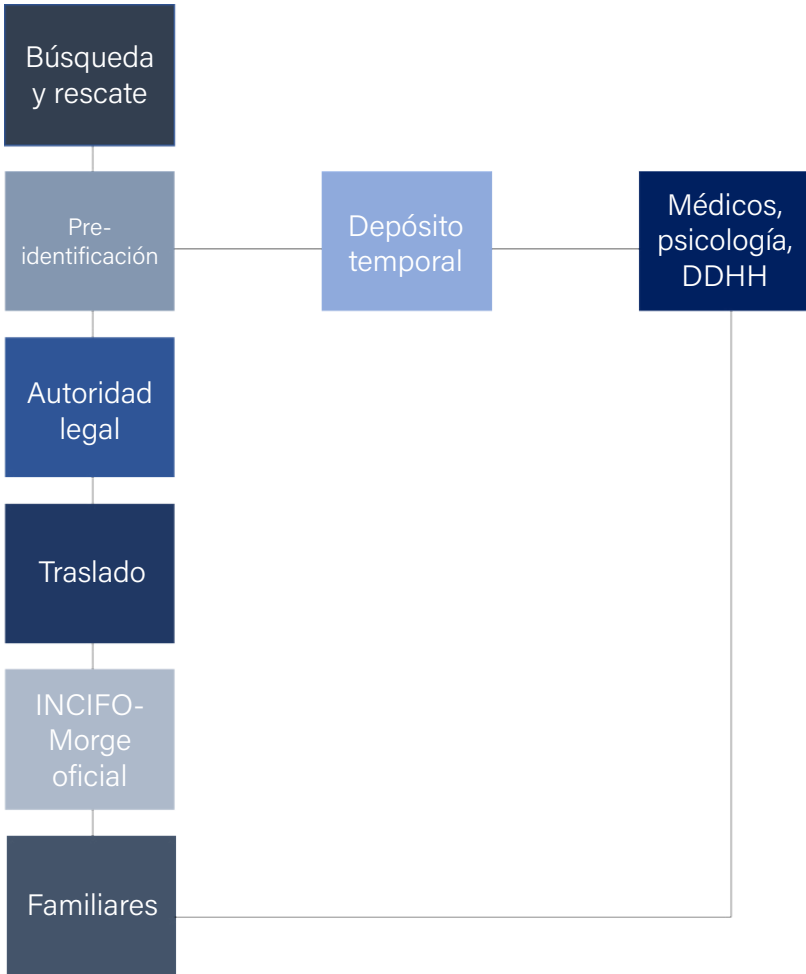
Con estas premisas, el trabajo de reconciliación no estuvo exento de complicaciones. Debido a que el personal de psicología no conocía el trabajo de llenado de las fichas AM, mucha información importante se perdió. Un ejemplo de esto fue que en ninguna ficha aparecía el dato de que uno de los desaparecidos tenía las cejas tatuadas; características que en muchos casos puede ser la clave para identificar a alguien, junto con otra información.

De los seis cadáveres recuperados, todos fueron identificados. Uno por comparación de su rostro con una fotografía; tres de ellos por sus características físicas y los otros dos mediante los objetos y accesorios que llevaban con ellos.

La comparación de fichas se realizó entre los antropólogos y los médicos. Una vez establecida la presunta identidad del fallecido se procedía a tener una reunión con los familiares, acompañados por psicólogos y observadores de Derechos Humanos. El médico describía las características que se anotaron en la ficha PM, haciendo hincapié en el mal estado de los cuerpos y advirtiéndolo a los familiares que había información que no se pudo recuperar, como, por ejemplo, rasgos faciales de uno de los cadáveres.

Una vez que se había explicado a los seres queridos el por qué se pensaba que la información *postmortem* recolectada describía a su familiar, se les preguntaba si estaban de acuerdo con la información y si reconocían a dicha persona por los datos que se les habían dado.

Todas las respuestas fueron positivas. Se procedió a recomendar no ver a las víctimas debido a los traumatismos que presentaban. Aun así, cuando los familiares insistieron, se les dio acceso al depósito temporal para que corroborasen la información.



**Figura 7.** Organización en Prolongación Petén 915

Fuente: *Elaboración propia*



Una vez que el proceso finalizaba, los cuerpos eran trasladados al INCIFO o a servicios médicos forenses acompañados de algún familiar (figura 7).

## CONCLUSIÓN

El trabajo que se realizó en la calle de Petén demostró la importancia de pre-identificar a las víctimas e informar a las autoridades competentes del hallazgo. Los familiares y las autoridades supieron en todo momento qué se estaba haciendo y cómo. Éstos últimos llegaron inclusive a pedir los formatos de fichas AM/PM usadas en el triaje para basar sus reportes en ellas y no en las suyas.

Por otro lado, los familiares pudieron abandonar la zona del derrumbe ya seguros de que sus seres queridos habían sido identificados, evitando la revictimización<sup>3</sup>, la desaparición administrativa<sup>4</sup> y todos los problemas derivados de la falta de información, y la ausencia de listas de víctimas mortales, que fue tan común en el resto de los derrumbes.

Los protocolos no se cumplieron de manera generalizada en ningún lugar siniestrado, ya que fueron los civiles los que organizaron los lugares hasta que las autoridades, días después, tomaron el mando. Pese a esto, en la calle de Prolongación Petén 915 se logró una coordinación funcional, no sólo entre médicos, rescatistas, psicólogos y antropólogos, si no con la propia autoridad, que finalmente dejó que el área médica y todos los operativos del triaje pudiesen hacer su trabajo, respetando los espacios.

Hubo críticas hacia la labor de los antropólogos en la zona del derrumbe y en la aplicación del proceso de pre-identificación de las víctimas. Sin embargo, existen diversas publicaciones donde se retoma la importancia de contar con antropólogos forenses en situaciones de desastres. No obstante, en la actualidad, se tiene la idea de que el antropólogo únicamente puede asistir en la elaboración del perfil biológico de los restos esqueléticos sin que su labor pueda hacer mucho más por las víctimas en una catástrofe. La experiencia ha demostrado que el trabajo del antropólogo ayuda a que las identi-

ficaciones sean más rápidas y seguras, no sólo en el área del triaje, si no en la propia escena antes, durante y después del levantamiento de los restos.

Diversos desastres masivos corroboran esta afirmación (Cordner, Woodford y Bassed, 2011; Leditschke, Collett y Ellen, 2011; Mundorff, 2008, 2012; Owsley et al., 1995), y generan el debate sobre el papel que juega la antropología forense en estos casos y si es necesaria o no.

Durante los trabajos de rescate de víctimas mortales tras el atentado del 11 de septiembre del 2001 en Nueva York, los encargados del levantamiento y posterior traslado de los restos humanos fueron bomberos. Al no tener un conocimiento básico sobre arqueología o antropología forense, descontextualizaron miles de fragmentos, mezclándolos en bolsas sin discernir si eran humanos o animales. Las consecuencias se reflejaron en los tiempos y en la complicación extra que hubo en las tareas de identificación (Mundorff, 2008, 2012).

Si bien es cierto que el papel que juega el antropólogo en el triaje mortuario variará dependiendo de las características del desastre, sus funciones siguen siendo amplias (Blau y Briggs, 2011; Mundorff, 2012):

- Recolectar información de la escena para evitar descontextualizar los restos.
- Reconocer restos o fragmentos óseos en la escena que pueden pasar desapercibidos para personal no especializado en antropología forense. En la calle de Prolongación Petén 915, se sacaron vísceras de la escena más de una hora después de que todos los cadáveres fuesen trasladados a las morgues pertinentes, sin que las ambulancias quisiesen hacerse cargo del traslado del material biológico por no saber a quién pertenecía.
- Asistir en la reconstrucción del lugar de los hechos, tratada ésta como un escenario de investigación.
- Discernir entre fragmento óseo y fragmento de otro material.
- Diferenciar entre hueso humano y hueso no humano.

3 La revictimización es “[...] la ocurrencia de ciertos eventos asociados a las violaciones a los derechos humanos cuyo efecto previsible es el de incorporar nuevas situaciones dolorosas a un contexto humano previamente traumatizado” (Madariaga, 2006).

4 Cuando se habla de desaparición administrativa hacemos referencia a la pérdida de la información sobre una víctima, lo que no permite su identificación o la posibilidad de reclamación del cuerpo por parte de sus familiares ya que el fallecido “desaparece” de los registros, por lo que no existe.

- Asociar los restos aislados que llegan a los depósitos temporales o morgues.
- Identificar restos mezclados, al conocer cómo se componen las articulaciones corporales o por medio de una comparación anatómica.
- Priorizar los restos para análisis de ADN.
- Individualizar restos humanos por características diferenciadoras que puedan facilitar la identificación de una víctima.
- Identificar la posible asociación de ciertos objetos con cuerpos en la escena.
- Obtener el número mínimo de individuos.

Aparte, la experiencia en los hechos relatados demostró la enorme importancia que reside en la correcta recolección de datos sobre personas desaparecidas en las fichas AM. Recomendamos encarecidamente que sean los antropólogos físicos los que se encarguen de realizar las entrevistas, ya que, debido a su formación, son capaces de extraer todos los datos necesarios para la correcta individualización de una persona, sin pasar nada por alto.

Instalar áreas de pre-identificación en desastres como el sismo del 19 de septiembre, que sobrepasó a capacidad de respuesta de las instituciones forenses; permite acelerar las tareas de identificación, reduce los tiempos de espera que, en ocasiones llegan a prolongarse por días o semanas y, disminuye la incertidumbre que sufren las familias para recibir información verídica sobre el destino final de su ser querido.

La antropología forense sigue siendo una disciplina poco conocida y entendida, desde sus limitantes hasta sus posibles aplicaciones. Por lo tanto, su participación y documentación en manuales, guías y protocolos internacionales relacionados con ayuda humanitaria, desastres masivos o situaciones de emergencia, no es cla-

ra; puede que sea mencionada su participación como experto forense de interés al tema, pero no desglosa e incluye sus tareas y funciones específicas en cada situación.

Con respecto a las leyes mexicanas, guías y manuales, su desconocimiento es más notorio, la mayoría de estas publicaciones oficiales centran su atención a atender la emergencia y/o desastre hacia salvaguardar la integridad y vida de las comunidades afectadas, y sus inmuebles; los espacios designados al manejo de víctimas mortales ocupan las últimas prioridades por lo tanto su importancia y designación de funciones no son claramente estipuladas a quien o a quienes les corresponde. Queda claro que una cosa es el manejo de personas fallecidas y otra, muy diferente, es la identificación de estas donde a nivel federal parece que este tema no es de interés primordial y deja en ambigüedad su proceso a las autoridades locales. Tal es el caso del “Acuerdo de Coordinación Interinstitucional para el Manejo de Cadáveres en Caso de Siniestro” (2011) aplicable exclusivamente para la CDMX; y si fuese el caso de su ejecución para el 19 de septiembre, estamos ante problemas de coordinación, falta de personal capacitado e información clara y oportuna para los familiares y brigadistas.

La antropología forense se debe abrir paso ante estas situaciones, involucrarse y comprometerse con los sucesos que afectan a las sociedades en el ámbito que le compete a la misma, por lo tanto, su inclusión y reconocimiento debe ser una tarea continua.

Finalmente, un desastre debe ser visto holísticamente desde la colaboración interinstitucional, con inclusión multidisciplinaria antes, durante y posterior a la emergencia.

## REFERENCIAS CITADAS

- Acosta, A. (2017, septiembre 19). Con los puños arriba: ¡Silencio! *El Universal*.
- Ahued- Ortega, A. (2018). Terremoto en México: la respuesta en salud del gobierno de la Ciudad de México. *Salud Pública de México*, 60(Supl.1), 83-89.
- Aldaz, P. (2018, agosto 20). Sismo del 19-S afectó 11 mil 495 inmuebles. *El Universal*.
- Blau, S., y Briggs, C. (2011). The role of forensic anthropology in Disaster Victim Identification. *Forensic Science International*, 205, 29-35. doi: 10.1016/j.forsciint.2010.07.038
- Brandoli, J. (2017a, septiembre 24). Carlos, un héroe anónimo del terremoto de México. *El Mundo*.
- Brandoli, J. (2017b, septiembre 25). Terremoto en México: Sospechas de caos organizativo y corrupción urbanística en el terremoto de México. *El Mundo*.

- Cámara de Diputados. (2012). Ley General de Protección Civil. Diario Oficial de la Federación.
- Cámara de Diputados. (2013). Ley General de Víctimas, Diario Oficial de la Federación.
- Cattneo, C., De Angelis, D., y Grandi, M. (2010). Mass Disasters. En *Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences from Recovery to Cause of Death* (2.ª ed.). Humana Press.
- CNDH. (2017a). *Directrices de actuación de la CNDH ante situaciones de desastre por sismos de gran magnitud*. Ciudad de México.
- CNDH. (2017b). *Urgió CNDH a las Autoridades no ser omisas ante las quejas recibidas por este Organismo Nacional y brindar atención a los hechos que las motivaron*. Ciudad de México.
- Coordinación Nacional de Protección Civil. (2017). *Reporte de acciones de la Coordinación Nacional de Protección Civil, tras el sismo del 19 de septiembre*. Secretaría de Gobernación. Ciudad de México.
- Cordner, S. M., Woodford, N., y Basset, R. (2011). Forensic aspects of the 2009 Victorian Bushfires Disaster. *Forensic Science International*, 205, 2-7. doi: 10.1016/j.forsciint.2010.08.008
- Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L., & Arnold, M. (2005). *Natural Disasters Hotspots: A global risk analysis*. Washington D.C.
- El País. (2017, septiembre 19). Sismo: Mapa de los edificios colapsados en Ciudad de México tras el terremoto. *El País*.
- Gobierno del Distrito Federal. (2011). Acuerdo de Coordinación Interinstitucional para el Manejo de Cadáveres en Caso de Siniestro. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, 12-23.
- FONDEN. (2012). *Mexico's Natural Disaster Fund – A Review*. Washington D.C.
- Hernández, L. (2018, junio 12). Más de 130 quejas por el sismo 19-S. *El Economista*.
- ICRC. (2013). The Ante-Mortem / Post-Mortem Database: An Information Management Application for Forensic Data. Recuperado 12 de septiembre de 2018, de [https://shop.icrc.org/the-ante-mortem-post-mortem-database-an-information-management-application-for-forensic-data.html?\\_store=default](https://shop.icrc.org/the-ante-mortem-post-mortem-database-an-information-management-application-for-forensic-data.html?_store=default)
- INSARAG. (2015). Volumen II: Preparación y Respuesta. En *Guías de INSARAG*. Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas.
- Interpol. (2013a). DVI Form- Missing Person.
- Interpol. (2013b). DVI Form- Unidentified Human Remains.
- Interpol. (2017). *Disaster Victim Identification Guide*.
- Leditschke, J., Collett, S., y Ellen, R. (2011). Mortuary operations in the aftermath of the 2009 Victorian bushfires. *Forensic Science International*, 205(1-3), 8-14. doi: 10.1016/j.forsciint.2010.11.002
- Madariaga, C. (2006). Retraumatización: hacia una conceptualización necesaria. Santiago de Chile.
- Mundorff, A. Z. (2008). Anthropologist- directed triage: three distinct mass fatality events involving fragmentation of human remains. En A. B (Ed.), *Recovery, Analysis and identification of commingled human remains* (pp. 123-44). Totowa: Human Press.
- Mundorff, A. Z. (2012). Integrating forensic anthropology into disaster victim identification. *Forensic Science Medical Pathology*, 8, 131-139. doi:10.1007/s12024-011-9275-0
- Naciones Unidas. (2011). *Informe de evaluación global sobre la reducción de riesgo en desastres: Revelar el riesgo, replantear el desarrollo*. Nueva York.
- Nájar, A. (2017). Terremoto de 1985: el devastador sismo que cambió para siempre el rostro de Ciudad de México. Recuperado 10 de septiembre de 2018, de [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150917\\_mexico\\_sismo\\_antes\\_despues\\_fotos\\_an](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150917_mexico_sismo_antes_despues_fotos_an)
- Orizaga, I. A. (2017, septiembre 25). 19-S: El derecho a conocer la verdad y las personas desaparecidas por el sismo. *Proceso*.
- Owsley, D., Ubelaker, D., Houck, M., Sandness, K., Grant, W., Craig, E., ... Peerwani, N. (1995). The role of forensic

- anthropology in the recovery and analysis of Branch Davidian compound victims- techniques of analysis. *Journal of Forensic Science*, 40(3), 341–348.
- Pérez, V., y Casillas, K. (2015, septiembre 14). El sismo de los 10 mil muertos. *El Universal*.
- Redacción. (2017). FOTOS: El antes y después de los edificios derrumbados en CDMX. Recuperado 10 de septiembre de 2018, de [https://www.huffingtonpost.com.mx/2017/09/23/fotos-el-antes-y-despues-de-los-edificios-derrumbados-en-cdmx\\_a\\_23220020/](https://www.huffingtonpost.com.mx/2017/09/23/fotos-el-antes-y-despues-de-los-edificios-derrumbados-en-cdmx_a_23220020/)
- Redacción AN. (2017) ¿Qué es el «Plan MX»? Recuperado 11 de septiembre de 2018, de <https://aristeguinoticias.com/1909/mexico/que-es-el-plan-mx/>
- Riquelme, R. (2017, septiembre 22). 4 evidencias que destapó el sismo del 19 de septiembre. *El Economista*.
- Secretaría de Gobernación. (2015). *Plan Nacional de Respuesta MX de la Administración Pública Federal*. Ciudad de México.
- Secretaría de Protección Civil. (2011). Plan Permanente Ante Contingencias de la Ciudad de México. Aviso por el que se da a conocer el Acuerdo tomado por el Consejo de Protección Civil para la realización de ejercicios de respuesta inmediata ante sismos de gran magnitud en el Distrito Federal e. *Gaceta Oficial del Distrito Federal, Décima Sép* (1063), 40-41.
- SSN. (2017). Estadísticas de sismicidad. Recuperado 10 de septiembre de 2018, de <http://www2.ssn.unam.mx:8080/estadisticas/>
- Universidad de Navarra. (2015) ¿Qué es exitus? Recuperado 13 de septiembre de 2018, de <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/exitus>
- Ureste, M., y Roche, E. (2017, octubre 19). 369 víctimas y miles de personas sin hogar: las cifras del #sismo19S. *Animal Político*.
- USAID. (2006). *Curso de rescate en estructuras colapsadas Nivel Liviano*. Bogotá: USAID.

# 30

## Democracia y Prácticas de Antropología Forense en Brasil en la Búsqueda de Desaparecidos de la Dictadura Militar

Márcia Lika Hattori<sup>1</sup>

Palabras clave: Dictadura militar brasileña, desaparición forzada, violaciones de derechos humanos, antropología forense.

### RESUMEN

Durante el proceso de redemocratización en Brasil y el fin de la dictadura en los años 80, las búsquedas de desaparecidos y los esfuerzos por encontrar posibles lugares de inhumación eran básicamente emprendidos por asociaciones de familiares que se reunían; organizaban las informaciones ante mortem de cada desaparecido e investigaban realizando caravanas y campañas para la localización de restos humanos. La sistematización de la información, como archivar, elaborar listas con el universo de búsqueda, probar la desaparición de alguien por el Estado represivo; fue una responsabilidad totalmente relegada a los propios familiares. El presente texto expone el panorama del trabajo forense en Brasil relacionado con la búsqueda de desaparecidos políticos durante el período democrático; a partir, del estudio de un caso en la ciudad de São Paulo donde las propias investigaciones, o la ausencia de ellas, contribuyeron más al proceso de desaparición, dificultando aún más las identificaciones.

### ABSTRACT

During the re-democratization process in Brazil and the end of the dictatorship in the 1980s, the searches for missing persons and the efforts to find possible places of burial were basically undertaken by associations of relatives who met, organized the ante-mortem information of each disappeared and investigated carrying out caravans and campaigns for the localization of human remains. Systemati-

---

1 Instituto de Ciencias del Patrimonio (Incipit). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Avenida de Vigo s/n. Santiago de Compostela. A Coruña. España.

zation of information, such as archiving, producing lists, proving the disappearance of someone by the repressive State, etc., was a responsibility totally relegated to the relatives themselves. This paper presents the panorama of forensic work in Brazil related to the search for disappeared people, during the democratic period, based on the study of a case in the city of São Paulo where the research itself, or the absence of them, contributed more to the process of disappearance, making identifications even more difficult.

## INTRODUCCIÓN

En los primeros meses de 2018, una nueva identificación es divulgada por la Comisión Especial sobre Muertos y Desaparecidos Políticos -CEMDP, organismo estatal que tiene como una de sus atribuciones la búsqueda de desaparecidos de la dictadura. La persona identificada fue Dimas Antonio Casemiro, guerrillero del grupo armado Movimiento de Resistencia Tiradentes - MRT. Su hermano, Denis Casemiro, ya había sido identificado en 1991 un año después del descubrimiento de una fosa común clandestina en la ciudad de São Paulo. Ambos compartieron el mismo destino, una fosa utilizada por la represión de la dictadura (1964-1985) con el objetivo de ocultar a los opositores.

De la identificación de un hermano a otro pasaron más de 25 años. Denis Casemiro fue identificado, a partir de los trabajos forenses del departamento de Medicina Legal de la Universidad de Campinas -UNICAMP. ¿Qué razón hubo para tardar tanto tiempo entre una identificación y otra? El objetivo de este texto es discutir, a partir del estudio del caso de la fosa clandestina de Perus, los trabajos de antropología forense en Brasil vinculados a los contextos de desaparición forzada de la dictadura militar brasileña.

La historia de las investigaciones forenses relacionadas a las búsquedas e intentos de identificación de desaparecidos políticos en Brasil, aunque ha sido registrada en algunos artículos y capítulos de libros, se encuentra eminentemente en la oralidad, a partir de las memorias y experiencias de familiares y asociaciones que realizaron aquello, que las pericias oficiales del Estado durante mucho tiempo no hicieron (Almeida, 2009, Coimbra e Brasil, 2002; Teles, 2001). Fueron estos mismos familiares los que realizaron las investigaciones de documentación, entre pulgas y cucarachas en los archivos policiales, pues eran ellos los que viajaban a Araguaia, en la región amazónica (figura 1) para buscar testigos, hacer entrevistas, localizar posibles fosas y que muchas veces contrataban peritos independientes como el Equipo Argentino de Antropología Forense - EAAF (EAAF, 1992, 1996, 2013; Te-

les, 2001); siendo esto, en la mayoría de los casos, con sus propios recursos económicos.

El contexto de Brasil en relación con la búsqueda de desaparecidos políticos siguió de manera bastante particular, si se compara con otros países de América Latina. No fueron creados equipos forenses que no estuvieran vinculados a la policía. La falta de un grupo permanente y multidisciplinar, la no participación de arqueólogos especializados para investigar sitios de inhumación clandestinos (Souza, 2015; Silva, 2012) y el no cruzamiento de informaciones para una mejor comprensión del contexto, produjeron un número muy bajo de identificaciones a lo largo de las últimas décadas (Hattori, 2018). Además, tales cuestiones derivan de la falta de políticas públicas específicas para acciones de búsqueda, en la permanencia de violencia simbólica hacia familiares y comunidades, y en una larga espera para concluir los trabajos, como en los casos emblemáticos como el de la fosa clandestina de Perus (en la región sureste del país) o el de la Guerrilla del Araguaia (en la región norte del país).

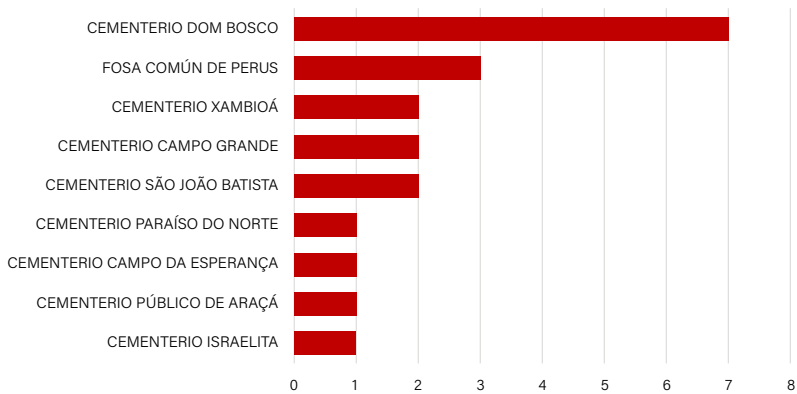
Un dato que evidencia claramente la problemática de las búsquedas de desaparecidos está relacionado con los lugares de inhumación de aquellos que han sido identificados. Como podemos ver en la figura 2, todos los casos de identificación estaban en cementerios y en sepulturas individuales, con excepción de la fosa común de Perus. Esto parece bastante sintomático en los procesos de búsqueda, pues la formación y perfil de los equipos designados por el Estado, con sus métodos utilizados presentan fallas en una de las etapas fundamentales: la investigación preliminar en sus distintas acciones: prospecciones, levantamiento de testimonios y análisis de documentación. De esta manera, vemos como el proceso de búsqueda de los desaparecidos parte con desventaja, pues la formación y el perfil de los equipos designados por el Estado no van a dar importancia a etapas que, en este caso concreto, son fundamentales como la investigación preliminar.



**Figura 1.** Una de las primeras caravanas de familiares en la región amazónica

Fuente: Fundação Maurício Grabois

## Lugares de inhumación



**Figura 2.** Identificaciones y dónde estaban ubicadas

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, es importante subrayar que, aunque fue reconocida por la Comisión Nacional de la Verdad (Brasil, 2014), la violencia contra indígenas, campesinos, trabajadores, entre muchos otros grupos marginados en la vida y en la muerte (Butler, 2009), ésta fue silenciada por un largo período de tiempo y la información que tenemos hasta el presente es poca. En cuanto a los grupos indígenas, durante la dictadura categorizados como “enemigos internos” (Agamben y Heller-Roazen, 1998), sufrieron con el desplazamiento forzado, prisión arbitraria, fueron colocados en campos de concentración (como el denominado Reformatorio Krenak), torturados y asesinados como los Waimiri-Atroari, Sateré-Mawé en una política estatal represiva en consonancia con los proyectos de obras de “desarrollo” de la década de 1970 y con alianzas entre empresas privadas y estatales para la explotación de recursos (Valente, 2017; Almeida, 2009). Todos esos grupos, aunque algunos de ellos tengan el reconocimiento del Estado como víctimas de la dictadura, no son individualmente reconocidos para la búsqueda de personas desaparecidas como ocurre en el caso de los desaparecidos políticos.

Así, el proceso de búsqueda ya comienza con un número que está subestimado. Las cifras y nombres no corresponden, por lo tanto, son una cuestión crucial para cualquier trabajo de

antropología forense en Brasil: ¿Quiénes y cuántos se buscan; y, ¿en dónde esas personas pueden haber sido enterradas?

Aunque una dictadura y sus impactos hasta hoy, no deben ser medidos por el número de desaparecidos, realizar las investigaciones forenses estableciendo sus universos de búsqueda, metodología específica y el desarrollo de un equipo con diferentes profesionales, ciertamente, pueden contribuir a evidenciar y materializar los crímenes de la dictadura, así como ayudar en la identificación de personas como parte del proceso que involucra la justicia de transición. Sin ellas, esos “restos” de la dictadura que se ven todavía en la actualidad en los mecanismos de actuación de la policía y de las instituciones se continuarán reproduciendo.

Por eso, es fundamental entender estos mecanismos en un estudio concreto de un caso emblemático y que ejemplifica a la perfección las complejas relaciones en la investigación forense en Brasil. A partir de los trabajos de análisis forense de los esqueletos encontrados en la fosa clandestina de Perus llevados a cabo en las últimas décadas, pretendo debatir la actuación de los peritos en este campo científico en Brasil. En ese sentido, este texto presenta los trabajos realizados entre los años 2014 y 2017 cuando se



formó el equipo forense que reactivó la investigación del caso<sup>2</sup>.

## FIN DE LA DICTADURA Y EL DESCUBRIMIENTO DE LA FOSA COMÚN EN 1990

En el año de 1990, el periodista Caco Barcelos investigaba casos de asesinatos cometidos por la policía de la ciudad de São Paulo, cuando descubrió la existencia de una fosa clandestina a partir de entrevistas con sepultureros y familiares de los propios desaparecidos de la dictadura. En el cementerio de Perus es donde se ubica la fosa y en la actualidad es el principal destino de las personas que son enterradas sin identidad, llamados desconocidos. Con la ayuda de las asociaciones de familiares, en especial de Suzana Lisboa (Barcelos, 2001:12), se realizó una larga investigación con la documentación del Instituto Médico Legal de São Paulo donde encontraron declaraciones de óbito marcadas con una “T” roja que significaba “terrorista” y que varios de los desaparecidos políticos podrían estar en la fosa. Además, estas investigaciones llegaron a la conclusión de que la fosa común, tenía el estatus de “clandestina” porque no constaba en ningún plano del cementerio, ni había ninguna indicación superficial de que era un espacio de enterramiento.

En la fosa clandestina fueron encontradas aproximadamente 1500 bolsas de plástico con restos óseos de estos llamados “desconocidos” – personas que vivían en situación de calle, víctimas de los escuadrones de la muerte, niños que murieron por una epidemia de meningitis (que fue prohibida su divulgación por el gobierno de la época) y guerrilleros que luchaban contra la dictadura que fueron secuestrados, torturados y asesinados en centros de detención (Teles e Lisboa, 2001).

La divulgación de la existencia de la fosa clandestina de Perus y su apertura llamó la atención de la sociedad, retomándose así la movilización social que tuvo su auge hasta entonces, en la lucha por la amnistía amplia, general e irrestricta. Se instaló en la Cámara Municipal de São Paulo la primera y única Comisión Parlamentar

de Investigación sobre Desaparecidos Políticos (CPI Perus, 1992). A partir de ella, se hicieron muchas visitas a posibles sitios de inhumación que se enumeraron durante esta Comisión. También, los familiares presionaron a las autoridades de forma más intensa y consiguieron acceder a algunos archivos policiales como los del Instituto Médico Legal - IML y los del Departamento Estatal de Orden Política y Social - DEOPS, en la ciudad de São Paulo.

Por todo lo anterior, el Ayuntamiento de São Paulo y el gobierno del Estado de São Paulo asumen el compromiso de la identificación de las personas enterradas en la fosa común, tarea que legalmente estaría a cargo del Instituto Médico Legal de São Paulo - IML. Sin embargo, hubo una fuerte oposición de los familiares y diversos organismos de derechos humanos pues, esta institución contaba con un pasado de colaboración directa con la represión. El que era director de la propia institución en la época de la dictadura, el médico Antonio Melo firmó un informe de autopsia falso de Manuel Fiel Filho, una de las personas torturadas y muertas en uno de los centros de detención de São Paulo (Seixas, 2001; Teles y Lisboa, 2001).

Frente a la reacción de los familiares, se buscó una alternativa en el Departamento de Medicina Legal de la UNICAMP, que pasó a conducir los trabajos bajo la responsabilidad del médico Fortunato Badan Palhares (Seixas, 2009; Jornal da UNICAMP, 2001: 2). Los familiares pidieron ayuda y el respaldo internacional a través de la exigencia de que todo el proceso fuese acompañado por el Equipo de Antropología Forense de Argentina y por el antropólogo Clyde Snow, que ya había participado en la investigación forense del caso de Josef Mengele. Sin embargo, la propuesta fue rechazada por el equipo de medicina legal de la UNICAMP bajo el alegato de que en Brasil había muchos profesionales capacitados (Teles y Lisboa, 2001).

En los dos primeros años se consiguieron dos identificaciones de las personas que estaban en la fosa, Denis Casemiro, como mencioné anteriormente, y Frederico Mayr por el método de superposición de imágenes sobre las medidas del cráneo. No obstante, el trabajo quedó interrumpido por problemas de financiación, y el aban-

2 Agradezco al equipo de la Secretaría de Derechos Humanos que se formó para la reactivación de los trabajos y que por cierto son parte de este trabajo: Rafael de Abreu e Souza, Patricia Fischer, Luana Alberto, Candela Martínez, Felipe Quadrado, Marina Inglez, Marina di Giusto, Ana Tauhyll, Marina Gratao, André Strauss, Aline Oliveira, Jacob Gelwan y Douglas Mansur; además de los equipos argentino – EAAF y peruano de antropología forense – EPAF, por el apoyo y formación.

dono terminó sepultando los avances realizados hasta entonces.

Ante la multitud de solicitudes de los colectivos de derechos humanos y familiares sobre los informes y el estado de los trabajos, en 1995 se hace una denuncia por la situación precaria en la que se encontraban los restos humanos en la universidad (IEVE, 2018). En las instalaciones de la UNICAMP, los huesos sufren inundaciones y son colocados pesados muebles sobre las bolsas en las que estaban almacenados (figuras 3 y 4). También, muchas de las bolsas estaban visiblemente abiertas, rotas y sin número de identificación (Souza et al, 2017). Se observan cajas con varios cráneos, sugiriendo que partes anatómicas fueron sacadas del conjunto esquelético sin referencia y luego fueron devueltas, no pudiéndose asegurar que no hayan sido mezcladas.

De este período, el relato de María Amelia Teles (integrante de la Comisión de Familiares que hizo la denuncia) es bastante esclarecedor. Ejemplifica el maltrato y la negligencia que pasaron tanto aquellos desaparecidos por la represión de la dictadura, como los restos óseos que sufrieron falta de cuidado en términos de preservación y mezcla durante décadas, ya en época democrática.

*Pusieron basura, cajas, sillas y hasta ollas sobre los huesos. Se han dañado. Tiramos fotos de todo eso. Fue un cuadro desolador. No sé por qué lo hicieron. Yo llamo lo que vi fosa de Perus número dos. La primera fosa fue creada por la dictadura y la fosa número dos fue creada por aquel Departamento de Medicina Legal. (Teles, 2001: 16).*

Los esqueletos fueron transferidos en el año 2001 a São Paulo, se colocaron en un espacio provisorio, en el osario del cementerio público de Araçá, donde fueron almacenados en cajas. Los trabajos de análisis forense quedaron bajo la coordinación del profesor de la Universidad de São Paulo y médico del Instituto Médico Legal de São Paulo, Daniel Muñoz; sin embargo, en este periodo ningún avance o informe fue hecho. Y en el 2004 el proyecto, de nueva vez, se quedó sin un equipo forense que pudiera terminar los trabajos de identificación.

Las más de 1000 cajas se mantuvieron en el osario del cementerio de Araçá a lo largo de la década del año 2000, y fue en este período que algunas acciones puntuales se realizaron con el objetivo de recolectar muestras de ADN de

algunos casos que habían sido analizados para intentar la identificación. Esas acciones fueron hechas por la Comisión de Muertos y Desaparecidos Políticos y el Ministerio Público Federal contratando laboratorios genéticos (Gonzaga, 2001). Gracias a estos trabajos, en 2005 se identificó una persona desaparecida más que estaba en la fosa: Flávio Carvalho Molina.

## FORMACIÓN DE UN NUEVO GRUPO E INVESTIGACIÓN DE LOS TRABAJOS ANTERIORES

Casi diez años después, en mayo de 2014, se forma un convenio para la conformación del Grupo de Trabajo Perus (GTP) con el objetivo de reanudación de los análisis forenses. Este proyecto se compone a partir de un trípode institucional: la Secretaría Especial de Derechos Humanos (SEDH), de la que forma parte la Comisión Especial sobre Muertos y Desaparecidos Políticos (CEMDP), la Secretaría Municipal de Derechos Humanos y Ciudadanía de la Municipalidad de São Paulo (SMDHC) y la Universidad Federal de São Paulo (UNIFESP).

Este nuevo convenio, se constituyó gracias a las presiones de familiares de muertos y desaparecidos políticos, y militantes comprometidos con la temática quienes continuaron exigiendo del Estado una respuesta. Además, estos colectivos pidieron en abril de 2013, a través de la Asociación Brasileña de Anistiados Políticos (ABAP), un diagnóstico de la situación en que encontraban los restos óseos de la fosa de Perus, que fue desarrollado por el Equipo Argentino de Antropología Forense – EAAF. El EAAF resaltó la falta de confianza en los análisis forenses realizados por el antiguo equipo de peritos del Departamento de Medicina Legal de la UNICAMP (CEV Rubens Paiva, 2015). A esa coyuntura se sumó, a fines de 2013, un ataque al osario del cementerio donde estaban las cajas de Perus, del que hasta hoy no se sabe quiénes fueron los responsables (figura 5).

Se trató de un momento histórico bastante importante, ya que estaba en vigencia la Comisión Nacional de la Verdad, formada en 2012, casi 20 años después del fin de la dictadura militar brasileña. Además, paralelamente, se crearon innumerables comisiones de la verdad en diferentes esferas: comisiones municipales y estatales relacionadas a instituciones específicas como universidades, organismos públicos, entre



**Figura 3.** Situación de los restos óseos en el Departamento de Medicina Legal de la Universidad de Campinas

Fuente: Archivo de la Comisión de Familiares – IEVE



**Figura 4.** Situación de los restos óseos en el Departamento de Medicina Legal de la Universidad de Campinas

Fuente: Archivo de la Comisión de Familiares – IEVE

otros. Fueron más de 100 comisiones de la verdad en todo el país, lo que demostró la demanda de la propia sociedad para hablar sobre el tema.

Todo eso posibilitó retomar los trabajos de análisis forense, a partir de un grupo como el GTP que tenía el apoyo para formación, establecimiento de protocolos, entre muchas otras necesidades, de equipos latinoamericanos en el comienzo, El Equipo Peruano de Antropología Forense – EPAF y el Equipo Argentino de Antropología Forense – EAAF; además, de arqueólogos, médicos, odontólogos, historiadores, genetistas y antropólogos para el trabajo continuo en el laboratorio.

Una de las primeras acciones necesarias, era comprender lo que se había realizado hasta entonces. ¿Cuántas cajas había? ¿Cuáles fueron las muestras enviadas para ADN? ¿Dónde están esas muestras? ¿Cuáles fueron los métodos utilizados? ¿Cuántos casos fueron efectivamente analizados? ¿Dónde están las fichas de análisis osteológico y toda documentación relacionada con el caso? ¿Cuáles fueron los universos de búsqueda establecidos hasta entonces? ¿Fueron enviadas muestras para ADN? ¿Cuáles?

Los arqueólogos que formaron parte del equipo consideraron que, para dar seguimiento a la investigación era fundamental comprender el proceso realizado hasta ese momento; y por tanto, era preciso llevar a cabo un amplio le-

vantamiento de los trabajos anteriores. Además, en las primeras reuniones con asociaciones de familiares había muchas dudas sobre los procesos previos, como por ejemplo ¿Dónde estaba el banco de muestras de sangre de referencia de los familiares que habían donado? ¿Qué institución está haciendo la custodia de esas muestras? De esta forma, quedó en evidencia que la historia de los trabajos de búsqueda e intentos de identificación de las personas enterradas en la fosa común de Perus estaba llena de agujeros, de falta de respuestas, de descuido completo en relación con la preservación de los restos óseos, vacíos que claramente dificultaron y contribuyeron aún más a la desaparición, si no más del cuerpo, de todas las demás formas materiales o simbólicas vinculadas a los desaparecidos. Los trabajos desarrollados por la UNICAMP, IML/ SP y USP nunca fueron pautados a partir de una investigación preliminar y ante mortem; de hecho, no partían de presupuestos básicos de relación con los familiares y los casos de las personas que podían estar inhumadas en Perus.

En lo que se refiere a la búsqueda de documentación como actas de reuniones, protocolos, etc.; no había un local central de consulta de ese material. Si, por un lado, la sistematización de todo el trabajo hecho por los familiares era organizado por ellos mismos en la sede de la Comisión de Familiares de Muertos y Desapareci-



**Figura 5.** Interior del osario del cementerio público de Araçá

Fuente: Tuca Vieira/ Revista Brasileiros. Carta Capital.

dos Políticos (Sao Paulo), de la parte del Estado brasileño, toda la información de las búsquedas no era clara, ni sistematizada, ni organizada, sin una memoria institucional que pudiera facilitar una investigación histórica de los trabajos de manera sencilla. Cuando se creó el grupo de trabajo, fue necesario recoger la documentación de más de 15 instituciones para juntar todo el material relacionado con la fosa común de Perus y aclarar toda la información en detalle.

Un ejemplo clave para entender la complejidad de esta etapa de la investigación preliminar, es la poca documentación, más allá de los testimonios de las personas que participaron y de las fotos de la prensa, acerca de la abertura de la fosa y excavación en el año de 1990.

A pesar de la fundamental importancia simbólica y política de la abertura de la fosa común en aquel momento, y del esfuerzo de los familiares; desde el punto de vista técnico, se observó en las imágenes del momento que la fosa no fue excavada en sus contornos. Los informes recogidos en la literatura hablan de que las dimensiones de la fosa eran de 30 metros de largo por 0,50 m de ancho y 2,70 m de profundidad (Teles y Lisboa, 2011). Al comparar estas medidas con las medidas del monumento superpuesto que actualmente se encuentra en el lugar, y que se dice corresponder a la medida de la fosa, posee 22 m por 0,80 m de ancho. Antonio Eustaquio, el director del cementerio en el periodo, en una entrevista a un periódico (Folha de São Paulo, 05/09/1990), dijo que la fosa tendría 0,30 m por 0,50 m, por 1,70m de profundidad.

Ante la ausencia de datos sistemáticos en relación con el cementerio, la fosa común, el proceso de ocupación del cementerio o las dudas acerca de la excavación total o no, se llevó a cabo una prospección sin intervención en la zona y un estudio de fotografías aéreas. Una intervención arqueológica fue recomendada por el equipo de arqueólogos que eran parte del grupo de trabajo, pero no se hizo.

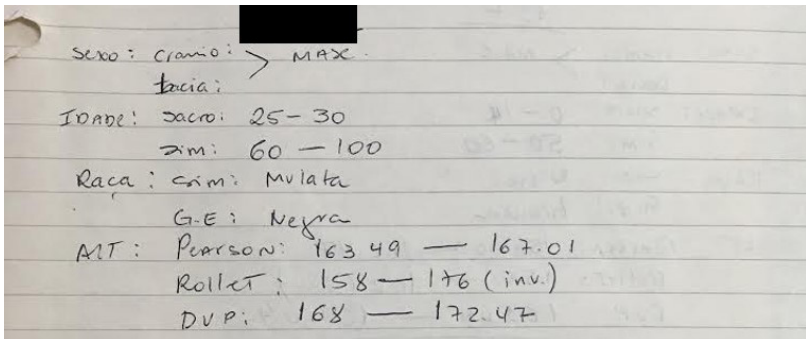
En lo que se refiere a los protocolos y a las fichas de análisis osteológico, fue necesario, buscar toda la documentación existente en el Instituto Médico Legal. Aunque las fichas estaban allí, no se encontró ninguna documentación referente a la metodología utilizada, no se encontraron protocolos con la literatura de base. No obstante, se sabe, a través del estudio de las fichas de análisis y de algunos datos dispersos encontrados que, en general, la literatura utilizada era bastante antigua, incluso teniendo en cuenta que eran

trabajos forenses realizados en los años 90. Para la estimación de la edad de los individuos, se utilizó el sacro y las suturas craneales basándose en Camille Simonin (1891-1961) y Claude Lovejoy (1943). Para la estimación de la estatura, se utilizaron los métodos de Karl Pearson (1857-1937), Étienne Rollet (1862-1937) y Clarence Wesley Dupertuis (1907-1992). Para los análisis de raza, se usaron los estudios de la morfología craneal de Simonin y un autor "G.E.". Las clasificaciones descritas para los análisis de raza, además de la problemática de este tipo de estudios, utilizaron categorías que son socialmente construidas y bastante cuestionables como "mulata" y "nisei" (figura 6).

Los datos ante mortem de la UNICAMP obtenidos a partir de los familiares fueron almacenados en un ordenador; a través de un programa de cruce de datos, desarrollado específicamente para ese fin. El cual analizaba todos los videos con entrevistas para la prensa hechos en el período. Sin embargo, el GTP nunca pudo acceder a dicho programa y los datos sistematizados. Lo disponible son unas fichas en papel, de las que no se sabe si son todas o había más y se perdieron.

La etapa genética del trabajo de identificación llevada a cabo entre los años de 1990 a 2013 es una de las etapas menos claras del proceso. En un primer momento, hubo varias colectas puntuales de muestras de referencia de familiares que se perdieron. En un segundo momento, se consideró la importancia de constituir un banco de muestras biológicas de referencia, lo cual chocó con la falta de estandarización de los procedimientos y acarreo la pérdida de muestras óseas enviadas al exterior. El Estado no consiguió dar respuesta, positiva ni negativa, a los familiares con sus intentos fallidos de identificación de las personas cuyos cuerpos fueron ocultos en la fosa de Perus. La negligencia con que fueron tratadas las muestras de sangre, las óseas y los propios familiares, llevó al Ministerio Público Federal (MPF) a abrir una Acción Civil Pública, en el año 2009, contra personas físicas y jurídicas que participaron en el proceso de identificación hasta ese momento.

En lo que concierne específicamente a las colectas de sangre para confrontación, las llamadas muestras biológicas de referencia, cada etapa del proceso de Perus dio lugar a nuevas colectas de sangre de familiares, lo que conllevó en ausencia de estandarización de las acciones, y, aún más grave, en ausencia total de cadena de



**Figura 6.** Documentación de un caso analizado por la UNICAMP

Fuente: Acervo Comisión de Familiares – IEVE

custodia, de términos de consentimiento libre y esclarecido (TCLE), y, en muchos casos, a la propia pérdida de la muestra, de la que se desconoce el destino. La gravedad de la situación aumenta por el hecho de que, por tratarse de un proceso que ha durado al menos 25 años, muchos de los familiares directos (padres y madres) fallecieron y sus muestras de referencia o no fueron recolectadas, o peor, no se sabe dónde están.

En vista de las innumerables dudas frente a la recolección de ADN realizada en los años 1990 y 2000 que surgieron en las entrevistas con familiares, se realizó un extenso trabajo para comprender las diferentes colectas realizadas en el ámbito de los trabajos previos. Es importante destacar que, al inicio de los trabajos del Grupo de Trabajo Perus, conocer el lugar de guarda del banco nacional de ADN y quien había donado era una de las principales preocupaciones. Las dudas frente a la recolección, al almacenamiento y la salvaguarda no eran sólo de los representantes de la Comisión de Familiares, sino también de otros familiares que hicieron la donación y no tuvieron ningún contacto con representantes del Estado para saber lo que ocurrió a posteriori con dichas muestras.

Según Gonzaga (2001: 110), en el año 1995 varios fragmentos óseos y muestras de sangre de familiares fueron remitidos de la UNICAMP a la Universidad Federal de Minas Gerais – UFMG para la realización de exámenes de ADN. La universidad, por su parte, nunca solicitó las muestras de sangre necesarias para la confrontación, pero permaneció con el material óseo hasta el año 2000, es decir, aproximadamente 5

años. En el 2001, el material que estaba en la universidad (muestras óseas y sangre) fue reenviado a la Policía Técnica Científica de São Paulo, entonces responsable por la continuidad de los exámenes de ADN. Este material biológico llegó en pésimo estado de conservación, encontrándose inclusive algunos tubos de sangre rotos.

Todo lo anterior, consolidó la necesidad de un trabajo desde distintos ángulos de estudio como se describe en la [figura 7](#). El primero, buscó comprender la formación de la fosa y el proceso de exhumación en 1990. El segundo, pretendía entender la política de desaparición forzosa y el perfil de las personas que fueron inhumadas en la fosa. El tercero, trató de entender el proceso histórico de los trabajos anteriores porque eso afectaba directamente el contenido de lo que se iba analizar.

## LOS UNIVERSOS DE BÚSQUEDA

Los peritos oficiales para el establecimiento del universo de búsqueda actuaban bajo demandas y listas enviadas por diferentes instituciones. De esta manera, la UNICAMP no realizaba ninguna investigación sobre el contexto de cada desaparecido, hacía la búsqueda por el cruce de aquellos casos de los cuales había recibido la ficha de antropología forense, llenada por los familiares. Para el equipo, en un caso abierto como el de Perus, era necesario entender cuáles eran las distintas probabilidades de las personas desaparecidas, de estar inhumadas en la fosa, analizar las diferentes listas de desaparecidos que se estable-

cieron para las búsquedas hasta ese momento y establecer propiamente el universo de búsqueda.

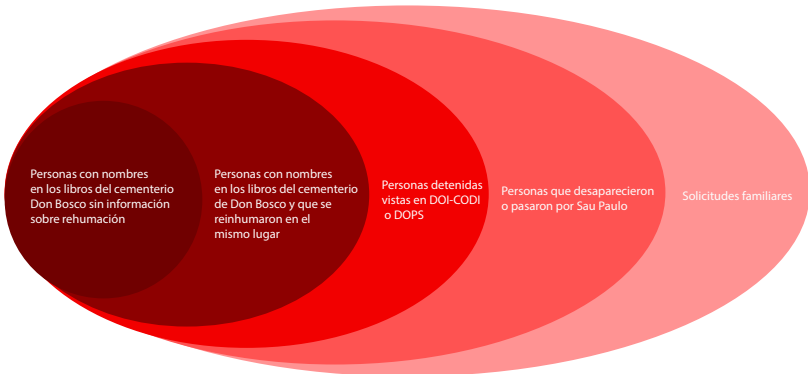
El equipo contrarrestó más de 10 listas existentes, producidas por las investigaciones de diferentes instituciones, algunas de ellas muy desactualizadas pues tenían todavía incluso personas que ya habían sido identificadas.

De esta forma, se consideraron para el universo de búsqueda del trabajo: los nombres de desaparecidos que estaban en los libros del cementerio de Perus y que tenían alta probabilidad de estar allí, personas desaparecidas de las que se sabía que habían pasado por algún centro de represión en San Paulo, otras personas que desaparecieron en la ciudad y también, personas desaparecidas que entraron por solicitud de sus familiares, con el fin de que al menos se excluyera la posibilidad de estar entre los restos mortales de la misma. Una vez que este proceso de identificación trata con la búsqueda de personas en el marco de una política de desaparición y, por lo tanto, de ocultación de cuerpos, se optó por agregar las distintas probabilidades para que, al menos, se diera una respuesta a las familias, incluso si ésta era negativa.

Con base en estos criterios, fue posible elaborar una lista que muestra los diferentes grados de probabilidad de cada uno de los desaparecidos a ser encontrados. En un primer nivel, están los nombres de los desaparecidos políticos o nombres falsos presentes en los libros de registro de entrada del cementerio de Perus, con alta probabilidad de estar entre los restos de la fosa. En un segundo nivel, están los desaparecidos con

los nombres en los libros del cementerio, cuyo registro presenta indicación de la re-inhumación en el mismo lugar, o sea, es probable que todavía estén en sepultura individual en el cementerio. En el tercer nivel, se suma a la lista personas que desaparecieron en São Paulo y/o que fueron vistas por diferentes personas en prisiones en São Paulo. Integra el cuarto nivel, con menores probabilidades, la referencia de personas desaparecidas o asesinadas en São Paulo o con alguna información de que pasaron por el municipio en algún momento; para este grado de probabilidad que involucra a un número grande de personas desaparecidas tenemos casos de personas que desaparecen en el municipio de São Paulo, aunque testigos y relatos de agentes de la represión relacionan a otras regiones.

Por solicitud de familiares en la época de los trabajos de la UNICAMP en los años de 1990, se mantuvieron en las búsquedas algunos casos, aunque no hubiera información sobre cualquier posibilidad de inhumación o paso por São Paulo. Se sumaron, también, nombres de personas desaparecidas en la década de 1970, cuya solicitud de familiares data tanto del período de las búsquedas de la UNICAMP, como de solicitud posterior a la Secretaría de Derechos Humanos de la Presidencia de la República; este último grupo sería nuestro quinto nivel en el universo de búsqueda.



**Figura 7.** Los distintos grados de probabilidad establecidos por el Grupo de Trabajo Perus

Fuente: Grupo de Trabajo Perus

## EL CONTACTO CON LOS FAMILIARES Y LAS ENTREVISTAS ANTE MORTEM

Aunque parte fundamental de la investigación, en el contexto brasileño, el levantamiento ante mortem siempre tuvo un enfoque guiado, a partir de interrogatorios y de la dicotomía verdad-mentira, al ver a los familiares como fuentes de información para recoger datos biológicos sobre los desaparecidos, sexo, edad, estatura, traumas, entre otros.

Las investigaciones forenses siempre fueron hechas por fuerzas policiales vinculadas a la Secretaría de Seguridad Pública, siendo que, en mi opinión, la formación de las personas pauta visiones del mundo y los métodos empleados por ellos. Si, por un lado, faltan a los peritos conceptos provenientes de la arqueología, antropología social / cultural e historia; por el otro lado, antropólogos sociales e historiadores necesitan una formación en antropología forense para realizar las entrevistas, ya que de ellas depende el cruce de informaciones ante mortem y post mortem y, por lo tanto, la identificación de los individuos.

Un ejemplo de este problema en la historia de los trabajos de búsqueda de desaparecidos políticos en Brasil, son las investigaciones llevadas a cabo por los peritos oficiales sobre la Guerrilla del Araguaia, donde históricamente las entrevistas a familiares y posibles testigos fueron y hasta hoy son realizadas por peritos policiales y delegados. Tales acciones, en vez de contribuir a los procesos de memoria y reparación, acaban simbólicamente siendo una continuidad de la violencia contra los testigos del asesinato de militantes y que vivenciaron la violencia del Estado represor frente a la sociedad civil durante la época de la dictadura. En lo que concierne a los trabajos de búsqueda relativos a la fosa común, el primer levantamiento de informaciones ante mortem se hacía a través del envío por correo por la Comisión Justicia y Paz de fichas en blanco para que los familiares pudieran cumplimentar con la información de su persona desaparecida. Después de llenado este documento era enviado a la Comisión Justicia y Paz (São Paulo) y la institución lo destinaba al Laboratorio de Patología de la UNICAMP.

El caso de Perus tiene el historial de idas y venidas en el proceso de búsqueda (UNICAMP, USP / IML-SP, Proyecto Cooperación Perus MPF y PF), que hizo que numerosos documentos personales de las familias y muestras genéticas se perdieran a lo largo del proceso. Esto forma

parte de la violencia que los familiares vivieron en los proyectos de búsqueda. La no información, las fotografías originales entregadas por los familiares, objetos que podrían traer un poco de su ser querido al presente, se pierden en algún momento del trabajo de búsquedas. Es la continuidad de la estrategia de desaparición que puede no ser consciente o palpable para el Estado, pero que lo es para los familiares. Tales acciones contribuyen con la desaparición e impiden no sólo el contacto de los familiares con cosas que evocan la memoria de los desaparecidos, y también imposibilita que nuevas generaciones conozcan la historia. En casos como este, en el que pasaron más de 40 años, nuevas generaciones de las familias pasan a involucrarse y heredar la responsabilidad de buscar a sus desaparecidos.

El trabajo ante mortem hecho por el Grupo de Trabajo Perus en el período de 2014-2017, buscó un objetivo mucho mayor que recoger sólo nueva información. Buscó materializar recuerdos de sus seres queridos y traer diferentes narrativas sobre el desaparecido; explicitando, además de su perfil biológico, sus características, sus visiones de mundo, su ideología, su perfil social, aunque la dictadura militar lo haya intentado borrar a partir de la desaparición forzada. Para el equipo, era crucial también romper con la relación experto y familiar, siendo que el primero utiliza un lenguaje en extremo técnico lo que distancia a los familiares, dificultando así el proceso de entrevista, ya de por sí complicado. Es necesario establecer relaciones menos jerarquizadas con un lenguaje técnico claro, considerando clave la participación de las familias en el proceso para forjar una relación de confianza. Además, como parte de este proceso de construcción de relaciones con los familiares, se recuperaron materiales que nunca se les habían devuelto en las etapas anteriores como fotografías y documentos.

## LA DESAPARICIÓN EN LA BUROCRACIA DE LA MUERTE

La fosa de Perus contenía miles de restos, resultado de un largo proceso de ocultación y desaparición que afectó, y aún afecta, a la población de la gran São Paulo. Entre esos esqueletos, hay víctimas de la dictadura militar, muchas de las cuales se transformaron en desconocidos, categoría que, aunque implica la producción de una documentación con vistas a una posible restitución de la identidad, en la realidad, su burocracia



y la falta de sistematización a la hora de llenar los documentos, deriva en procesos de destitución de la identidad de los sujetos de modo oficial, pues tal proceso se sitúa dentro del sistema estatal.

La investigación se inició con la sospecha apuntada por la Comisión de Familiares de Muertos y Desaparecidos Políticos de quien el desaparecido Aylton Adalberto Mortati, reconocido por la ley 9140/95, estaría inscrito en el libro del cementerio como un “desconocido”, con lugar y fecha de muerte cerca de la desaparición del mismo. Así, se partió del presupuesto de que muchos desaparecidos y muertos por las fuerzas de represión de la dictadura militar pudieron entrar como “desconocidos” en el cementerio, teniendo sus identidades negadas y ocultas dentro de las instituciones del Estado, que participaba con la burocracia de la muerte y con el camino del cuerpo, como es recurrente en diversos países en casos de desapariciones forzadas.

Los libros del cementerio fueron consultados desde los años 70 por diferentes personas, buscando pistas sobre las desapariciones de la época de la dictadura, como familiares, periodistas, funcionarios y personas involucradas con cuestiones relativas a los derechos humanos. Con el conocimiento generado por estas informaciones, se optó por mirar sistemáticamente todas las páginas de los libros, recogiendo todos los datos para dar un tratamiento estadístico, generando un banco de datos en el que fuera posible levantar una hipótesis sobre el universo de los 41 desaparecidos, con distintos grados de probabilidad, que podrían estar en la fosa de Perus. Con ello también sería posible cruzar los datos con otras series documentales, como aquellos referentes al Instituto Médico Legal de São Paulo (IML) y al DOPS / SP y comprender cuál fue el camino de los cuerpos desde su muerte hasta el entierro en los años 70.

Información mucho más rica surgió del análisis y del levantamiento de datos. Fue posible observar mecanismos de desaparición en funcionamiento, formados por los pasos de una cadena institucional y burocrática que imposibilita el rastreo de los cuerpos, perpetuando su ocultación; produce la pérdida de identidad de los ciudadanos y camufla las circunstancias en las que se produjeron las muertes. Este proceso deriva en lo que hemos denominado desapariciones administrativas (Hattori et al, 2016). Fue evidente a partir del estudio documental que el sistema de represión y la estrategia de desapariciones utili-

zadas en el periodo de la dictadura aprovechó un mecanismo ya en funcionamiento, previamente, para efectuar las desapariciones forzadas.

La investigación dialoga con el papel que juega el documento testigo de muertes y estrategias vinculadas al trabajo sobre la desaparición forzada; pero también demuestra, que la inexistencia de los mismos, por las más diversas razones, resulta en desapariciones administrativas, cuando es imposible seguir el camino del cuerpo, cruzar datos con las diversas instituciones e instancias implicadas en la burocracia de la muerte y rastrear a un ciudadano, que pierde en la medida, en que los documentos estatales que registran su existencia desaparecen (Peirano, 1986; Damatta, 2002).

Los libros de registro de entrada del cementerio, laudos de autopsias, declaraciones de defunción y los libros de fotografías de víctimas del Instituto Médico Legal materializan la gestión burocrática que crea formas específicas de registrar categorías de personas en el momento de la muerte, como la de los desconocidos. En el caso de éstos, componen una categoría demasiado banalizada por la propia administración, resultando en lagunas y en errores constantes a la hora de rellenar la documentación, lo que acaba por dificultar los posibles intentos de identificación posterior (Ferreira, 2013). En esos documentos está registrada buena parte del camino del cuerpo, desde el lugar de muerte, el lugar de necropsia, el lugar donde el cuerpo había sido inhumado y los movimientos internos del mismo o de sus remanentes óseos en el cementerio de destino, o al menos así debería ser. Los llamados desconocidos son a menudo desaparecidos.

Estas personas son buscadas por familias que no logran rastrear el cuerpo y entender el camino de la muerte a partir de la documentación posible consultada en las instituciones responsables. Por otro lado, los desconocidos, personas sin identificación, a menudo también son llamados indigentes. Esta otra clasificación tiene un cariz socioeconómico relacionado con la condición de vida que a menudo se utiliza para justificar una relación directa entre desconocidos y personas en situación de pobreza. De esta forma, se crea un tipo de enterramiento, el del tipo indigente, como si se justificara una sepultura menos digna, la ocultación de un cuerpo o incluso el uso de fosas comunes por el hecho de que la persona pudiera haber vivido en una situación de pobreza durante su vida; como si fuera un tipo específico de sepultura y no como

la negación de derechos que cualquier individuo tiene en la muerte.

## ALGUNAS CONSIDERACIONES FINALES PARA EL CONTEXTO BRASILEÑO

Los esfuerzos en los últimos años para realizar un trabajo que pudiera efectivamente concluir los análisis forenses de la fosa común de Perus y proponer un trabajo realizado por el Estado que estuviera alineado con una perspectiva latinoamericana de antropología forense, ha generado resultados directos como la identificación de Dimas Antonio Casemiro y, además de eso, ayudó a mostrar las posibilidades innumerables de modificar la actuación de los peritos oficiales en los casos de violaciones de derechos humanos de manera general en el ámbito del Estado brasileño.

Este caso tan emblemático, que se arrastra desde hace 31 años desde la abertura de la fosa, nos ejemplifica las dificultades muchas veces encontradas en la investigación forense en Brasil como la difícil relación de los peritos oficiales que forman parte de la policía; la falta de un equipo técnico especializado del Estado que actúe en estos contextos y tenga otro tipo de perspectivas teórico-metodológicas; los cambios

políticos que rompen con la continuidad del proceso resultando en falta de recursos financieros y humanos para tales acciones; todo lo cual ocurre por ausencia de una política de Estado fuerte. Las investigaciones anteriores también llaman la atención sobre la problemática que surge cuando se constituyen colaboraciones con las universidades, pues los tiempos de los trabajos en antropología forense muchas veces no comparten los mismos tiempos de aquellos de la investigación académica; y, además, los objetivos son distintos.

Asesinados, destituidos de sus identidades y ocultos en una fosa común, los pocos aspectos materiales que quedan sean los propios restos óseos, sean las pocas fotografías que los familiares disponían de su ser querido, todo ello, durante los trabajos de investigación forense, se perdieron poco a poco en idas y vueltas, interrupciones y negligencias. Durante el propio período democrático, las búsquedas en el caso de Perus, desaparecieron aún más con aquellos que ya habían sido ocultos. Las investigaciones imbuidas de un compromiso social y político, de un incómodo inconformismo con la situación, avanzaron; y se dejó de perpetuar el mismo sistema, aunque con ciertas continuidades como la violencia simbólica que la propia búsqueda acarrea. Para muchos de los familiares continúa la violencia sin una ruptura: la del Estado brasileño buscando y desapareciendo con los mismos.

## REFERENCIAS CITADAS

- Agamben, Giorgio; Heller-Roazen, Daniel. *Homo Sacer: Sovereign Power and Bare Life*. Stanford University Press, 1998. ISBN 9780804732185.
- Almeida, Crimeia Schmidt (2009). *Dossiê Ditadura: Mortos e Desaparecidos Políticos no Brasil (1964-1985)*. 2 edición. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. 776 ISBN 978-85-7060-717-1.
- Brasil (2014) *Relatório Final da Comissão Nacional da Verdade*. 1. Brasília - DF: 2014. ISBN 978-85-85142-56-8.
- Butler, Judith. (2009). *Frames of War: When is Life Grievable?* New York, ISBN 9781844673339. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=ga7hAAAAAAJ>
- Coimbra, C., Brasil, V. V., & Moraes, J. L. (2009). Exumando, identificando os mortos e desaparecidos políticos: uma contribuição do GTNM-RJ para o resgate da memória. *Clínica e Política: subjetividade, direitos humanos e invenção de práticas clínicas*. Rio de Janeiro: *Abaçar/Grupo Tortura Nunca Mais*, 2, 45-62.
- Damatta, Roberto. (2002). A mão visível do Estado: notas sobre o significado cultural dos documentos na sociedade brasileira. *Anuário Antropológico*, 99, 37-64.
- Equipo Argentino de Antropología Forense (2013). informe integral de las tareas llevadas a cabo en relación a la investigación de restos óseos provenientes de la fosa común del Cementerio de Perus. Disponible en: <http://comissaodaverdade.al.sp.gov.br/arquivos/documentos/019-eaaf-relatorio-hiroaki-torigoe>
- Equipo Argentino de Antropología Forense. (1992). Excavando la violencia: arqueología y derechos humanos en el Cono Sur. *Arqueología en América Latina*, Hoy, 160-166.

- Equipo Argentino de Antropología Forense. (1996). An investigation into the guerrilla group of Araguaia and an investigation into the identities and causes of death of the remains of five persons who disappeared during the last Brazilian military government. Annual report. Disponible en: [http://eaaf.typepad.com/cr\\_brazil/](http://eaaf.typepad.com/cr_brazil/)
- Ferreira, L. C. (2009). *Dos autos da cova rasa: a identificação de corpos não-identificados no Instituto Médico-Legal do Rio de Janeiro, 1942-1960*. Editora E-papers.
- Gonzaga, E. A. (2012). As ossadas de Perus e a atuação do Ministério Público Federal em São Paulo. *Vala clandestina de Perus: desaparecidos políticos, um capítulo não encerrado da história brasileira*. São Paulo: Instituto Macuco, 106-116.
- Hattori, Márcia et al (2016). O Caminho Burocrático da Morte e a Máquina de Fazer Desaparecer: Propostas de Análise da Documentação do Instituto Médico Legal-Sp Para Antropologia Forense. *Revista do Arquivo*. São Paulo – SP.
- Ive, 2018. Relatório final Perus. Archivo del Instituto de Estudios sobre Violencia de Estado).
- Jornal Da Unicamp (2001). Documento. Projeto Perus Passado a Limpo. Edição especial. Disponible en: [http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/ju/mar2001/ossopag22.html](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/mar2001/ossopag22.html)
- Pearson, K. (1899). On the reconstruction of the stature of prehistoric races. *Phil T rans R Soc Lond Ser A*, 192, 169-244.
- Peirano, Mariza. (1986). Sem lenço, sem documento: reflexões sobre cidadania no Brasil. *Sociedade e estado*, 1(1), 49-64.
- Roller, E. (1888). De la mensuration des os longs des membres. *Thesis pour le doc en med*, 43, 1-128.
- Sacchetta, V. (Ed.). (2010). *Habeas corpus: que se apresente o corpo: a busca dos desaparecidos políticos no Brasil*. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República, Governo Federal.
- Silva, S. F. S. M., Souza, C. C., Fuzinato, D. V., Fontes, L. R., & Yamashita, P. A. C. (2012). Estudo de problemas preliminares vinculados à existência da arqueologia forense e antropologia forense no Brasil. *Clio Arqueológica*, 27(1).
- Souza, Rafael de Abreu (2015). Arqueologia e a Guerrilha do Araguaia ou a Materialidade Contra a Não Narrativa. *Revista Arqueologia Pública*, v. 8, n. 2, p. 17, June. ISSN 2237-8294.
- Souza, Rafael de Abreu e et al. (2017). A Formação do Grupo de Antropologia Forense para a Identificação das Ossadas da Vala de Perus. Relatório final de la Comisión Estadual de la Verdad Rubens Paiva.
- Teles, Edson; SAFATLE, Vladimir P (2015). *O que Resta da Ditadura: a Exceção Brasileira*. Boitempo Editorial. ISBN 857559222X.
- Teles, Janaína de Almeida (2001). *Mortos e Desaparecidos Políticos: Reparação ou Impunidade?* Humanitas FFLCH/ USP. ISBN 9788575060117. Disponível em: < <https://books.google.es/books?id=Sz5IAAAAYAAJ> >.
- Teles, Maria Amélia; LISBOA, Suzana Keninger (2012). A vala de Perus: Um Marco Histórico na Busca da Verdade e da Justiça! IN: MACUCO, I. (Ed.). *Vala Clandestina de Perus. Desaparecidos Políticos um Capítulo Não Encerrado da História Brasileira*. São Paulo: Instituto Macuco, v.1, cap. 5, p.200. ISBN 978-85-00000-00-0.
- Valente, Rubens (2017). *Os Fuzis e as Flechas: História de Sangue e Resistência Indígena na Ditadura*. Companhia das Letras. ISBN 9788543808673. Disponível em: < <https://books.google.es/books?id=I6olDgAAQBAJ> >.
- Zarankin, A. (2006). *Arqueologia de la represión y la resistencia en América Latina (1960-1980)*. Editorial Brujas.



*Avances en Antropología Forense*, se terminó el 28 de febrero de 2022.

El tiraje consta de ejemplares encuadernados en rústica de 20x25cm, 4x4 tintas, 586 páginas. En su composición se utilizó las familias tipográficas Sabon de 7 puntos y Fira Sans de 7, 8 y 20 puntos. Se empleó papel obra ahuesado de 80 gramos para interiores y papel ilustración 300 gramos para las tapas. La edición estuvo al cuidado de los autores.







La antropología forense es una ciencia indispensable en los esfuerzos para la mitigación de la emergencia forense que acontece en México. Por sus amplias capacidades de análisis ha sido una pieza clave en el acceso a la verdad, justicia y memoria en Latinoamérica, y que hoy en México tiene un desafío respecto de la impartición de justicia y de la gran cantidad de personas desaparecidas.

Avances en Antropología Forense integra diversas colaboraciones científicas basadas en evidencia integradas en cinco sesiones, con 30 capítulos y 64 autores de diversas universidades, procuradurías, policía, equipos independientes, etc.; que se cohesionan para brindar al lector, de una visión de innovación sobre la antropología forense.

El desafío de las ciencias antropológicas aplicadas es la generación de investigación para la resolución de problemas sociales, es sobre este punto que el libro, brinda a estudiantes, profesionales, investigadores, peritos, docentes un libro primario para entender la antropología forense en el marco de la problemática de derechos humanos que acontece en nuestros días.



Facultad de Medicina

