

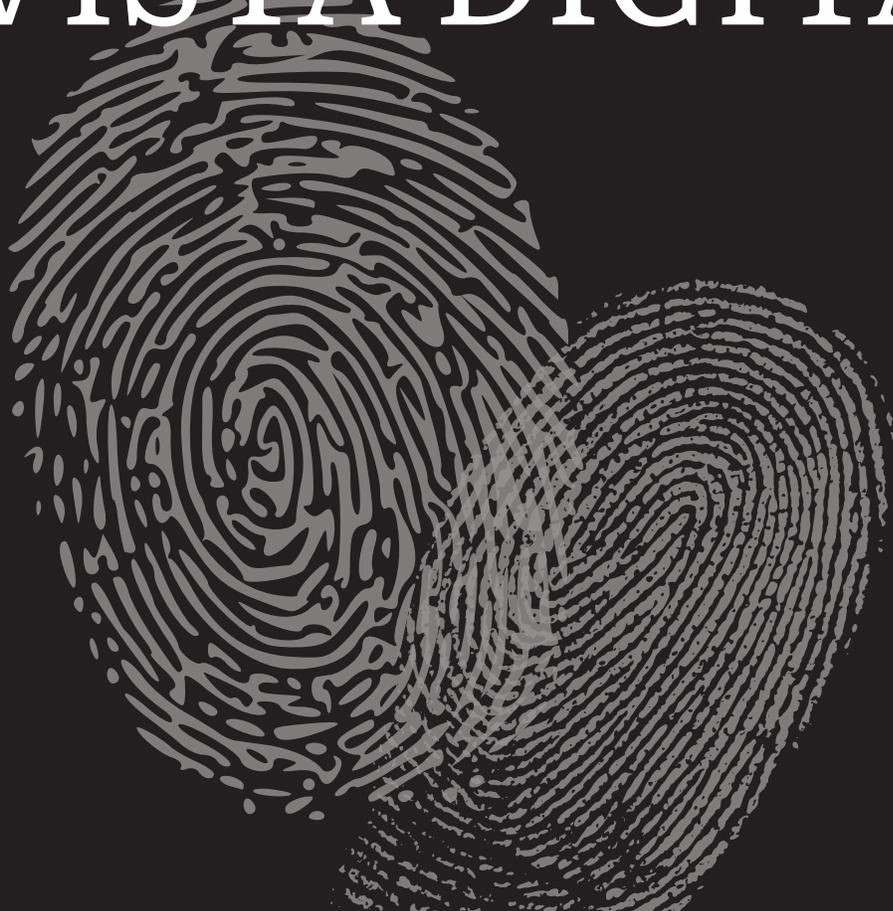
RECIF



Año 1 No. 2

REVISTA DIGITAL DE
CIENCIA FORENSE

REVISTA DIGITAL



DE CIENCIA FORENSE



Facultad de Medicina



Rector

Dr. Enrique Graue Wiechers

Director

Dr. Germán E. Fajardo Dolci

Secretaria General

Dra. Irene Durante Montiel

Coordinadora Licenciatura Ciencia Forense

Dra. Zoraida García Castillo

Editor

Dr. Mirsha Quinto Sánchez

Consejo editorial

Dra. Zoraida García Castillo, Dra. María Elena Bravo Gómez, Dr. Vicente Torres, Dra. Alexa Villavicencio Queijeiro, Mtro. Jorge Luis López Zepeda, Dra. Anahy Rodríguez González, Dr. Mirsha Quinto Sánchez.

REVISTA DIGITAL DE CIENCIA FORENSE,

Año. 1, No. 1, abril-septiembre 2022. Publicación semestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Universidad 3000, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Forenses (ENaCiF), Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Col. Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Teléfono 56-23-23-00 ext. 24210, <http://recif.unam.mx/>, correo electrónico: recif@enacif.unam.mx. Editores responsables: Dr. Mirsha Quinto Sánchez y Dr. Vicente Torres Zúñiga, Certificado de Reserva de Derechos al uso Exclusivo No. 04-2023-101812092200-102, ISSN en trámite, Responsables de la última actualización de este número: Dr. Mirsha Quinto Sánchez y Dr. Vicente Torres Zúñiga, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Col. Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, fecha de la última modificación: 28 de abril de 2022.

La responsabilidad de los textos publicados en Revista Digital de Ciencia Forense recae exclusivamente en los autores y su contenido no refleja necesariamente el criterio de la Institución. Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

Producción editorial: Mirsha Quinto Sánchez, Vicente Torres.

Diseño, maquetación: Mirsha Quinto Sánchez.

Portal Web: Ing. Luis Flores, Dr. Vicente Torres, Dra. Sofia Huerta-Pacheco.

Diseño de portada: Leopoldo Francisco Arroyo Munguía

Diseño de logo de la revista: Emir Romero Borbolla

ÍNDICE

a Presentación Revista Digital de Ciencia Forense

f Editorial

Artículos de investigación

1 La estimación del error en métodos cuantitativos para identificación humana: un experimento con las arcadas dentales.

23 Comparación analítica entre video y simulación de una precipitación

Artículos de investigación realizados por estudiantes

38 La caries rampante en cuatro condiciones para la identificación de personas.

Artículos de divulgación/difusión

60 Nuevas sustancias psicoactivas: un reto para la química y la toxicología forense

70 Monos y humanos: unidos por más que crestas de fricción

78 Guías para la valoración de la prueba científica: una propuesta desde la ciencia para el derecho

PRESENTACIÓN RECIF

La Licenciatura en Ciencia Forense (LCF) es un programa académico gestado en el seno de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México. Desde su creación en el año 2013, se ha dedicado a recibir a un selecto número de alumnos para formarles bajo un modelo educativo basado en competencias.

A la fecha, son cinco las generaciones de egresados, por lo que en nuestro país ya existen personas tituladas como científicos forenses que o bien se encuentran ejerciendo su profesión o continúan en formación académica; pero de cualquier manera se encuentran formados bajo un perfil multidisciplinar, basado en competencias.

En el Plan de Estudios de la LCF se definió a la ciencia forense como *"el conjunto estructurado y sistematizado de conocimientos, de carácter científico, jurídico y técnico, que se aplican al análisis de los hechos materia de conflicto judicial y que permiten dar seguimiento y continuidad al proceso, hasta que se presentan los resultados ante la autoridad jurídica correspondiente para coadyuvar en la procuración y administración de la justicia"* (1).

Hablar de ciencia forense en el contexto del Plan de Estudios ha tenido la pretensión de hacer referencia a un bloque de técnicas y conocimientos científicos que se estructuran y coordinan para apoyar al ejercicio de la procuración y administración de justicia. Sin embargo, cuando se hace referencia a las ciencias forenses en plural podemos entender a cada una de esas técnicas y/o conocimientos científicos que se encuentran en posibilidad de tener aplicación forense, en coadyuvancia con la justicia. En realidad, casi cualquier conocimientos científico o técnico podría tener una aplicación forense y eso amplía cada vez más el espectro de concurrencia de conocimientos para el esclarecimiento de los hechos que son materia de resolución judicial.

La impartición de justicia en el mundo se ha revolucionado y modernizado de una manera muy acelerada en los últimos tiempos gracias a la participación de las ciencias en el Derecho. La resolución de los casos se ha configurado en un grado mayor de confiabilidad gracias a la objetividad de las opiniones de técnicos y científicos que apoyan en la indagación de los hechos que tratan de dilucidarse a través de las pruebas.

En un ambiente de alta inseguridad y un clima de impunidad como el que evidentemente vive nuestro país desde hace varios años, fortalecer el conocimiento de las ciencias forenses y la formación de profesionales en esas áreas es indispensable.

Ante este panorama es que la LCF busca constantemente fortalecer sus instrumentos de formación de profesionales y ahora se ha propuesto contar con la Revista Digital de Ciencia Forense que sirva de apoyo para la difusión del conocimiento que se genera en el seno de nuestra comunidad académica, a nivel nacional e incluso internacional. Sobre todo, se pondrá al alcance del alumnado en formación, saliente y egresado para constituir material de apoyo en la consulta y para incentivar la investigación y divulgación de la ciencia forense generada desde la Universidad.

Antecedentes

En el año 2019, el grupo de académicos que integran la Licenciatura en Ciencia Forense tuvo el emprendimiento de organizarse para plantear la creación de una revista de divulgación del trabajo académico de alumnos y profesores de nuestro programa, que fuese inclusivo de otros estudiantes, académicos y profesionales interesados en los conocimientos científicos forenses. Esta pretensión se planteó como un proyecto de investigación en el marco del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME) de la UNAM.

El proyecto fue aprobado, lo que permitió impulsar la creación de la revista digital, a través del *Open Journal System*. Se pretendió que la revista sea digital tanto para economizar su publicación, como para hacerla más accesible al mayor número de lectores posible.

La revista se ha creado bajo los siguientes tres pilares que a la vez se traducen en sus tres grandes objetivos:

- 1) Desarrollar contenidos de carácter científico, que permitan el acceso a temas especializados o de difícil manejo didáctico, beneficiando principalmente a los científicos forenses, egresados y en formación, tanto de la Universidad Nacional como de otras universidades e instituciones académicas que puedan aprovecharlo.
- 2) Desarrollar contenidos sobre las formas innovadoras que se han desarrollado en la LCF para el proceso de enseñanza-aprendizaje, como un paradigma de formación profesional innovador.
- 3) Divulgar los conocimientos referidos en los dos rubros anteriores, con el fin de enriquecer los recursos didácticos sustantivos de profesores, investigadores, alumnos y población en general interesada en estos temas.

Así, la revista se vincula directamente con los tres pilares fundamentales del quehacer universitario: la docencia, al promover la actualización de los docentes y el desarrollo de materiales didácticos que se contendrán en la revista digital y que pueden resultar de difícil acceso en otros textos; la investigación, al generar contenidos científicos y educativos transdisciplinarios, que permitan divulgar conocimiento de vanguardia en el área de las ciencias forenses y; la divulgación, al permitir el acceso a los contenidos generados dentro de la revista digital a la comunidad universitaria, pero también a profesionales forenses y población en general interesada en las ciencias forenses, para colaborar de esta forma en la solución de problemáticas sociales relacionadas con los sistemas de investigación, procuración y administración de justicia del país.

La revista se encuentra dirigida a científicos forenses, estudiantes de la LCF, profesores de las diferentes disciplinas que conforman a la ciencia forense, investigadores interesados en explorar el campo de la ciencia forense y especialistas del área educativa interesados en la enseñanza-aprendizaje de la ciencia forense.

De esta forma, se contribuye de manera significativa a la construcción de la identidad del científico forense, a la LCF y al proyecto impulsado por la UNAM para el desarrollo científico del trabajo de investigación de los hechos, dentro del sistema de procuración y administración de justicia del país.

El planteamiento de creación de la revista se seccionó en tres fases:

1. La gestión para la propuesta
2. La estructura del proyecto de revista digital
3. La implementación del proyecto a través de la publicación

Estas etapas se traducen en metas anuales que quedaron definidas de la siguiente manera:

Primer año:

1. Establecer el comité de edición y los comités revisores por área de conocimiento.
2. Definir los lineamientos de edición y la estructura de la revista, especificando secciones, contenidos, distribución, imagen digital, entre otros.
3. Establecer las reglas de publicación que establezcan la convocatoria, el procedimiento de escrutinio, los mecanismos para calificar como válido un trabajo para su publicación, las cartas de consentimiento, entre otros.
4. Desarrollo de la Página WEB y del diseño de la revista.
5. Abrir un programa de servicio social para alumnos de las áreas de diseño.
6. Divulgar el proyecto de revista digital.

Segundo año.

1. Determinar el medio para dar mantenimiento y soporte a la página, así como los servicios de imagen digital.
2. Adquirir el dominio en la página web para la dirección electrónica de la revista digital.
3. Elaborar la maquetación del primer número, que cumpla con las metas establecidas en el primer año.
4. Garantizar que los artículos y secciones de divulgación científica y educativa, cuente con la participación de profesores, investigadores y alumnos, en primera autoría o en coautoría.
5. Divulgar el producto del proyecto de revista digital.

Ahora estamos en el cierre del segundo año y las metas se han cumplido. Estamos en el arranque de la publicación de una revista que pretende una periodicidad constante, pero sobre todo calidad de sus publicaciones y una cobertura amplia entre la comunidad científica mexicana.

Sus alcances

Existen y han existido a nivel nacional órganos de difusión de la ciencia forense, como es la Revista Mexicana de Medicina Forense y Ciencias de la Salud, del Instituto de Medicina Forense de la Universidad Veracruzana (2); la Revista Estudios Forenses, del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (3); la Revista del Instituto de Ciencias Forenses de la Fiscalía General del Estado de Puebla (4); o la Revista Mexicana de Ciencias Penales del Instituto Nacional de Ciencias Penales (5), entre otras.

Menciono estos ejemplos porque no se debe dejar de reconocer los grandes esfuerzos que la comunidad científica forense en México ha realizado por muchos años para difundir las disertaciones que se han venido teniendo sobre los temas forenses y las importantes contribuciones que se pueden realizar desde las trincheras del ejercicio forense.

La **Revista Digital de Ciencia Forense** que nuestro programa académico impulsa es un esfuerzo más que se distingue por sus propósitos de hacer énfasis en la difusión de la generación de conocimientos científicos forenses y también las técnicas de enseñanza-aprendizaje que se han implementado en nuestro programa, sobre todo teniendo en cuenta que su pretensión es la formación en competencias y que la pandemia se cruzó en nuestro camino para retornos aún más y exigir centrarnos en el uso de herramientas tecnológicas que sirvan para el trabajo de la enseñanza a distancia.

No somos el único programa en México que se encuentra formando científicos forenses, por lo que nos interesa compartir experiencias y crear sinergias, por ello esta revista es también una invitación para interactuar con nuestros colegas de otras instancias académicas y profesionales que se encuentren formando profesionales de las ciencias forenses y abriendo brechas para su campo de trabajo.

Invitamos a los alumnos, profesores, investigadores, peritos, y personas interesadas en el mundo forense, a sumarse a nuestras filas de discusión de ideas, de generación de conocimiento científico y de difusión de nuestros avances. Abramos un semillero de discusión que sirva de herramienta de enseñanza y de plataforma de avance en el amplio mundo de la Ciencia Forense.

Zoraida García Castillo

Coordinadora de la Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM. México

Notas

1. Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM, Plan de estudios, http://www.cienciaforense.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2015/02/PlanEstudiosLCF_UNAM.pdf, pág. 1
2. <https://revmedforense.uv.mx/index.php/RevINMEFO>
3. <http://estudiosforenses.mx/presentacion.php>
4. <https://fiscalia.puebla.gob.mx/index.php/informacion-socialmente-util/revista-del-instituto-de-ciencias-forenses>
5. <https://revistaciencias.inacipe.gob.mx/index.php/02/index>

EDITORIAL

Año 1, Número 1

La comunicación científica por medio de revistas es un elemento intrínseco de la ciencia. Representan una tradición continua en la praxis científica, el reporte de resultados o la divulgación/difusión de investigaciones. En la actualidad el sector editorial vive uno de sus grandes cuestionamientos sobre el acceso libre a la información generada por investigaciones con financiamiento público. La Declaración de Berlín (DB) sobre Acceso Abierto al Conocimiento en Ciencias y Humanidades (1) es documento que defiende la diseminación del conocimiento a la sociedad de forma expedita y amplia (1), considerándose conocimiento incompleto cuando se restringe su dinámica de transmisión. La DB reconoce el acceso abierto como una fuente de conocimiento humano y patrimonio cultural (1). La controversia y dicotomía es clara, comunicación científica libre o los modelos de negocio cerrados y con costos altos de publicación y acceso a la información; lo que genera desigualdad respecto de las oportunidades de publicación y acceso a la información en universidades y a la sociedad. Como lo cita Montano (2) *"Las instituciones y universidades pagan dos veces, una por crear la información a través de sus investigaciones y otra por adquirir el acceso a la información a través de sus bibliotecas para los investigadores"*, lo cual ha generado una cantidad enorme de críticas desde las dos posiciones.

La RECIF es una revista científica que tiene un proyecto de ciencia abierta generada con una perspectiva de colaboración entre la comunidad científica enfocada en la ciencia forense para la construcción de una herramienta de comunicación de trabajos originales sobre las investigaciones desarrolladas en centros de investigación, fiscalías, servicios periciales, grupos independientes, etc. Es así que este proyecto nace, revindicando los principios de patrimonio cultural de la información científica y con miras a posicionar la RECIF en la comunidad pericial y académica del país y Latinoamérica.

Desde el consejo editorial de la RECIF nos es grato presentar el primer número con seis comunicaciones. En el rubro de los artículos de investigación, se presentan dos contribuciones. La primera sobre *La estimación del error en métodos cuantitativos para identificación humana: un experimento con las arcadas dentales* donde se plantean resultados de interés para el campo de la caracterización de error de medición en estructuras dentales realizadas por múltiples observadores con diferentes grados de experiencia. También, en dicha sección, se presenta evidencia sobre la *Comparación analítica entre video y simulación de una precipitación*, donde se establecen parámetros para la simulación de hechos de precipitación aportando datos de suma relevancia para el uso de dichas técnicas en el campo del análisis de video y reconstrucción de hechos en el ámbito forense.

De igual manera, se presentan un trabajo de investigación realizados por estudiantes *La caries rampante en cuatro condiciones para la identificación de personas*, donde se realiza una revisión sistemática sobre condiciones de salud bucal que presentan ciertas características únicas que podrían ser elementos de relevancia para la identificación de personas por medio de caracteres dentales.

En lo que respecta a la difusión y divulgación científicas se publican tres trabajos, uno de ellos un sobre *Nuevas sustancias psicoactivas: un reto para la química y la toxicología forense*, donde se realiza una integración del estado del arte de las drogas de relevancia forense. Después, en el artículo *Monos y humanos: unidos por más que crestas de fricción* se reflexiona sobre las relaciones

filogenéticas entre dichos caracteres. Finalmente se difunden *Guías para la valoración de la prueba científica: una propuesta desde la ciencia para el derecho* donde se presenta informe sobre el proyecto de la construcción de dichas guías y su implicación para la praxis de valoración de prueba en el contexto mexicano.

Así, la RECIF pone al alcance de la sociedad un producto científico de comunicación de ciencia, de carácter libre, sin costo, gestionado desde la plataforma del *Open Journal System*. Esperando que en este primer número permita consolidar la revista en años próximos, convirtiéndose en una referencia primaria para la ciencia forense.

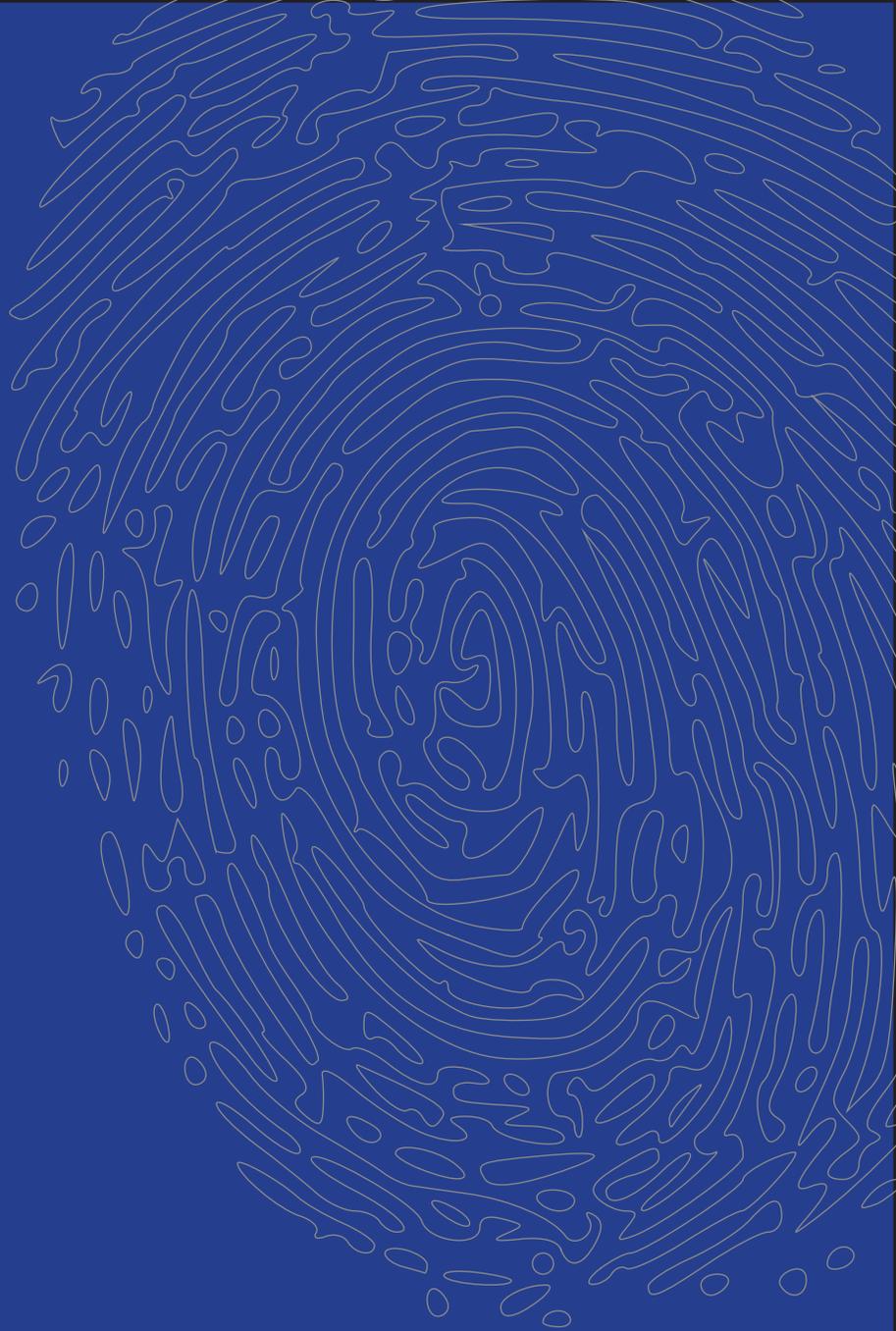
Mirsha Quinto-Sánchez

Editor de la Revista Digital de Ciencia Forense (RECIF)

Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

Citas

1. Declaración de Berlín sobre Acceso Abierto al Conocimiento en Ciencias y Humanidades. Consejo Global de Investigación en 2012.
2. Montano B.. Acceso abierto (open access), un modelo necesario de comunicación científica. *Rev Pediatr Aten Primaria*. 2009; 11(42): 299-311.



ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

La estimación del error en métodos cuantitativos para identificación humana: un experimento con las arcadas dentales

Mirsha Quinto-Sánchez¹✉, Sadahi García², Andrea Nares³, Carolina Hernández², Cynthia San Juan², Stefano Huitrón², Chantal Loyzance¹, Ivet Gil-Chavarría¹

¹Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

²Facultad de Odontología, Universidad Nacional Autónoma de México.

³Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

✉ mirsha@cienciaforense.facmed.unam.mx

Datos del artículo:

Cita: Quinto-Sanchez M, García S, Nares A, Hernández C, San Juan C, Huitron S, Loyzance C, Gil-Chavarría I. 2022. La estimación del error en métodos cuantitativos para identificación humana: un experimento con las arcadas dentales. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(1): 1-22 pp.

Editor: Vicente Torres.

Recibido: 21 septiembre 2021.

Aceptado: 21 febrero 2022.

Publicado: 28 abril 2022.

Financiamiento: Conacyt PN-2016-2518.

Resumen

Los efectos del error de medición (EM) intra e inter observador en los datos empleados en métodos cuantitativos en la identificación humana, deben ser evaluados para evitar la aparición de errores estadísticos en la interpretación de datos, y la consecuente generación de falsos positivos o negativos. El objetivo fue evaluar el error intra e inter en nueve observadores en un protocolo de 20 landmarks, caracterizando su fluctuación en cuatro iteraciones independientes. Se contrastó la hipótesis de que el patrón del error de medición disminuye en función del tiempo y en relación con la formación y/o área académica del observador (experiencia). Para ello, se fenotiparon 139 fotografías de alta resolución de modelos dentales de 45 individuos de la Colección Odontológica Nacional de Ciencia Forense de la UNAM. Después, mediante el uso la morfometría geométrica y estadística multivariada se analizó la variación general de la muestra con un diseño experimental anidado por observadores e iteraciones. Los resultados fueron contrarios a lo esperado, los datos no muestran una disminución del error en función del tiempo. También, que el error inter fue mayor que el intraobservador, como otros estudios han reportado. La mayor frecuencia de error fue entre observadores por la secuencia de posicionamiento de landmarks. Con base en los resultados se recomiendan generalidades para evitar la aparición de error en estudios morfogeométricos, la principal es la inclusión de reportes de error intra e inter observador en los peritajes que usen mediciones o digitalizaciones.

Palabras clave: Error de medición, morfometría geométrica, identificación humana.

Abstract

The effects of intra and inter-observer measurement error (EM) in the data used in quantitative methods in human identification must be evaluated to avoid the appearance of statistical errors in the interpretation, and the consequent generation of false positives or negatives. The objective was to evaluate the intra and inter-error in nine observers in a protocol of 20 landmarks, characterizing its fluctuation in four independent iterations. The hypothesis that the measurement error pattern decreases as a function of time and in relation to the observer's training and / or academic area (experience) was tested. For this, 139 high resolution photos of dental casts from 45 individuals from the National Forensic Science Dental Collection of UNAM were phenotyped. Then, by using geometric morphometrics approach and multivariate statistics, the general variation of the sample was analyzed with a nested design by observers and iterations. The results show that contrary to expectations, the data does not show a decrease in error as a function of time. Also, that the interobserver error was greater than the intraobserver one, as other studies have reported. The highest frequency of error was between observers due to the sequence of positioning of landmarks. Based on the results, generalities are recommended to avoid the appearance of error in geometric morphometric forensic studies, the main one being the inclusion of intra- and inter-observer error reports in expert opinions that use measurements or digitizations.

Keywords: measurement error, geometric morphometric, human identification.

Introducción

La observación fundamental de la biología es la morfología (1). En años recientes el estudio morfológico ha sido encabezado por la morfometría, que se encarga de la cuantificación de las formas biológicas. Dicho proceso conlleva una técnica de medición, misma que impone una limitación práctica a lo que puede estudiarse: la capacidad del observador de realizar mediciones precisas, es decir, su error de registro (2).

El error de medición (EM) ha sido definido como el porcentaje de la variación fenotípica atribuible al error de medida (3). Sin embargo, esta definición atribuye la variación a un factor extrínseco o no inherente a ella, por lo que se considera incorrecta (2). Una definición más aceptada es que el EM “es la desviación del resultado en una medición al valor verdadero de ésta” (3). En una caracterización del EM se busca que: la precisión, que es la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud, y la exactitud, que es cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido (Figura 1a) se distribuyan cercanos o tendientes a cero.

El EM puede ser caracterizado en varios niveles: dentro de observadores (repetibilidad), entre observadores (reproducibilidad) y entre diferentes métodos (reproducibilidad). Para profundizar en lo anterior, la repetibilidad es la cercanía entre los resultados de mediciones sucesivas de la misma magnitud por medir, efectuadas en las mismas condiciones de medición (Figura 1b). Las condiciones de repetibilidad incluyen: un mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición utilizado en las condiciones y un mismo lugar y repetición dentro de un periodo de tiempo corto (4,5). La reproducibilidad es la cercanía entre los resultados de las mediciones de la misma magnitud por medir, efectuada bajo mediciones diferentes (Figura 1b) como pueden ser: el principio de medición, el método de medición, el observador, el instrumento de medición, el patrón de referencia, el lugar y las condiciones de uso y el tiempo (4). Es así como la repetibilidad y la reproducibilidad permiten la plasticidad de cambio de condiciones para generar programas de investigación prolíficos respecto de la caracterización del error que en antropología biológica y forense son bastos (6–14).

El EM, entonces, es una constante en los estudios de caracteres morfométricos (15–17) que se puede circunscribir bajo los siguientes supuestos generales: 1) el resultado de una medición es sólo una aproximación o estimación del valor de la cantidad específica sometida a medición, es decir, magnitudes de medición, y por lo tanto el resultado es completo sólo cuando se acompaña de una evaluación cuantitativa de su incertidumbre (18), 2) la sofisticación de los instrumentos de medición no implica la eliminación de error en las mediciones, por el contrario el error siempre se encontrará presente y reducirlo es un elemento importante del quehacer morfométrico (17), 3) la caracterización del error es una constante en todo estudio cuantitativo que implique la medición

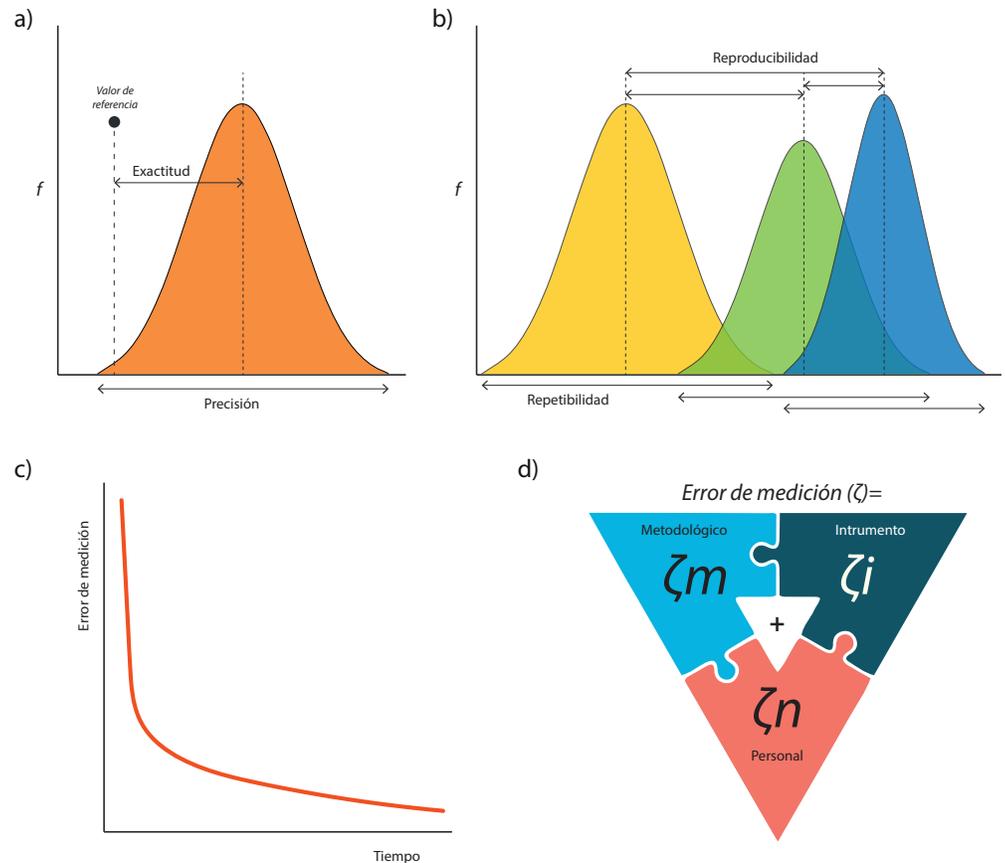


Figura 1. Fundamento teórico del estudio de error en estudios cuantitativos. A) relación estadística entre el concepto de precisión y exactitud. B) relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad en términos estadísticos con tres grupos de medidas. C) dogma del error de medición donde éste disminuye en función del tiempo (experiencia) del observador y su entrenamiento respectivo. D) Modelo general del error en la morfometría geométrica según Arnqvist y Martensson (24), que es la sumatoria del ζ_m es el error metodológico, ζ_i el error del instrumento y ζ_n el error personal.

de alguna estructura , y 4) se ha constatado que los protocolos utilizados por la morfometría geométrica presentan menos problemas con el error respecto de los empleados por la morfometría tradicional (17).

En las ciencias forenses, específicamente en antropología forense, existe la idea generalizada de que el error disminuye en función del tiempo (Figura 1c), como un efecto directo de la experiencia del observador, aquí este fenómeno lo denominamos “dogma del EM”. Comúnmente, durante la presentación de peritajes o incluso en el desarrollo de métodos cuantitativos (que se pueden extender a los morfoscópicos o visuales) se omite el reporte del EM, porque se asume que, por experiencia, su error tendería a ser bajo o nulo. Incluso, se asume que el EM entre pares en algún equipo forense es bajo y constante a través del tiempo. Esta práctica esta alejada de toda praxis basada en evidencia (19–22) y es por dicho planteamiento que nace el presente trabajo, la caracterización

del EM es un requerimiento estándar para cualquier laboratorio antropológico forense, extensible a otras áreas de las ciencias forenses.

El informe para el fortalecimiento de las ciencias forenses en EEUU (23), estableció la necesidad de programas científicos para examinar el error o sesgo de las observaciones realizadas por peritos en diversos procedimientos forenses, proponiendo la conformación de validación de mediciones, repetibilidad-reproducibilidad de protocolos generales en ciencia forense. Como un punto específico se recomienda la recopilación y análisis de datos forenses: exactitud y tasas de error del análisis forense, fuentes de sesgo potencial y error humano en la interpretación por expertos forenses y pruebas de aptitud de expertos forenses, dando preponderancia a los modelos basados en evidencia y haciendo generalización de la práctica de estimación del EM en las ciencias forenses.

Para realizar dicha caracterización existe un modelo teórico general del EM que Arnqvist y Martensson (24), sintetizan, siguiendo a Rabinovich (25), que establece que:

$$EM(\zeta) = \zeta_m + \zeta_i + \zeta_n \quad [1]$$

Donde, ζ_m es el error metodológico, ζ_i el error del instrumento y ζ_n el error personal. Como se observa en el modelo, cada componente es aditivo y se subdivide como sigue (Figura 1d): 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 (17).

Taylor y Kuyatt (18), recomiendan el uso de estadísticas como ANOVA o correlaciones en la evaluación de estos efectos o bien vía coeficiente de correlación intraclase (6). Estadísticamente, siguiendo las definiciones de Rohlf (26), un estimador fenotípico será insesgado cuando para todos los valores de la muestra, el valor esperado de la estimación (el valor medio de la estimación) es igual al valor verdadero del parámetro, esto es:

$$E(\hat{q}) = q \quad [2]$$

Donde \hat{q} es una estimación del parámetro q (26). De lo contrario, se dice que el estimador está sesgado. El desvío o error, entonces, es la diferencia de:

$$E(\hat{q}) - q \quad [3]$$

La magnitud promedio de error a menudo se mide como el error cuadrático medio, MSE (por su significado en inglés, mean square error), el promedio de la desviación al cuadrado de una estimación de su valor real:

$$MSE \hat{q} = E(\hat{q} - q)^2 = s^2 + (E(\hat{q}) - q)^2$$

[4]

Este estadístico proporciona una medida de la exactitud en lugar de sólo la precisión, ya que es una función de la proximidad de las estimaciones a la media real en lugar de la media de la muestra (26).

Las formas para minimizar la contribución del EM en la muestra son diversas, sin embargo, algunas pautas generales ayudan a resolver el problema. Una ruta comúnmente empleada es que los pasos, procesos, tratamientos, estandarizaciones y correcciones desde el individuo original a los datos morfométricos deberán ser los menos posibles (17). Es importante señalar que algunas comparaciones de métodos de medición morfométrica manual y digital, muestran que estos últimos presentan mayor precisión y están menormente influenciados por factores que aumentan el EM (27,28), y más aún cuando éstos son realizados en tomografías (8), por lo que la morfometría geométrica, implementando el método de ANOVA (e.g. de una vía o Procrustes ANOVA), deberá presentar un menor umbral al EM, menor al 2% que se establece como umbral clásico y aceptado en morfometría (8,29). Luego entonces, la práctica morfométrica deberá estar orientada a amortiguar el error de medición (EM) mediante protocolos robustos de medición, pericia del investigador y correcta implementación de modelos estadísticos.

El objetivo de presente trabajo es evaluar el EM dentro y entre diversos observadores (n=9) en un set de 20 puntos craneofaciales (landmarks), caracterizando su fluctuación en cuatro iteraciones independientes, estableciendo si el patrón del error de medición disminuye en función del tiempo en relación con la formación y/o área académica del observador y su *expertise*. Con ello se establecen recomendaciones generales para la determinación del error en ciencias forenses. Se espera, como hipótesis generalizada, que las mediciones realizadas sean repetibles entre observadores, es decir que los estimadores de repetibilidad y error inter e intra observador sean insesgados ($E(\hat{q}) = q$), dentro de los estándares establecidos para la morfometría (8,29); es decir, que error intra e inter observador se reduzca en función del tiempo, siendo más preciso y logrando una meseta de error en la última iteración realizada.

Material y Método

La muestra

Se emplearon 139 fotografías de alta resolución de modelos dentales pertenecientes a 45 individuos de la Colección Odontológica Nacional de Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México. Para cada individuo, se tenían, por lo general, los moldes dentales para la maxila y mandíbulas, pre y post-tratamiento lo que suma cuatro moldes por

persona. Sin embargo, al ser un archivo sin uso clínico, algunos individuos no presentaban todos los moldes, motivo por el cual el total no es 180 fotografías. Específicamente, dos individuos presentaron un molde, 10 individuos dos moldes, tres individuos tres moldes; así que existe discrepancia entre el número de individuos y las fotografías realizadas. Los modelos fueron donados de forma anónima por la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Odontología, UNAM, por lo que no se requirió consentimiento informado.

Fenotipado

Para capturar la forma del arco dental se aplicó un protocolo de fotografía científica sobre cada modelo de yeso. Las fotografías se obtuvieron con una cámara Nikon D4 y un lente fijo AF Nikkor 50mm f / 1.8D con un filtro UV de 52mm (Figura 2a). Esta lente fue elegida en base a estudios previos por presentar el factor de deformación esférico o de borde más bajo (30). Se empleó una mesa de reproducción fotográfica para el montaje, el centroide de la cámara se fijó ortogonalmente a 0.5 m de altura, que se mantuvo constante entre tomas. Para su referencia métrica, se colocaron dos escalas cerca del modelo, una metálica contigua al área de enfoque y otra de plástico en la parte inferior de la imagen. La escala de las fotografías se realizó utilizando la escala de metal que estaba en el área de enfoque de la cámara. La cámara fue parametrizada con los siguientes valores: ISO -100, f / 5.6, y exposición compensada para subexponer un paso o nivel. Estos valores dan un campo de profundidad con un límite cercano de 48.5 cm y un límite lejano de 51.6 cm, esto es un 3.06 cm de nitidez que es superior para las longitudes de los elementos dentales en estudio. Finalmente, si bien se sacaron fotografías en formato *.raw, para el presente estudio se emplearon las almacenadas en formato *.jpg, con una resolución de 300 píxeles por pulgada en horizontal y 300 píxeles por pulgada en vertical (Figura 2b).

Después, se colocaron un conjunto de 20 *landmarks* (Figura 2c) sobre las fotografías basado en el protocolo de Kieser (31). La delimitación fue sobre las cara incisales (en anteriores) y oclusales (en posteriores), iniciando por el lado derecho de la fotografía con la cara distal del molar más posterior (*landmarks* 1,2,3), y siguiendo con los puntos de contacto dados por la superposición de los principales grupos de dientes; es decir, molares-premolares (*landmarks* 4,5), premolares-canino (*landmarks* 6,7), canino-incisivos (*landmarks* 8,9) y punto de contacto o línea media de incisivos centrales (*landmarks* 10, 11), siguiendo la secuencia ahora de anterior a posterior del lado izquierdo (ver Figura 2c). En el caso de ausencia dentaria, se colocaron puntos en el centroide de la cara oclusal o incisal o el punto de contacto del grupo de dientes previamente descrito. El fenotipado se realizó utilizando el software TPSDIG (32). Cada sesión de digitalización se llevó a cabo con un mes de intervalo, requiriendo a los observadores realizarlo durante la mañana del primer día de cada semana. Además, el protocolo se discutió de forma general entre los observadores y se apoyó siempre con una imagen de referencia anatómica de los *landmarks*

(Figura c).

Este proceso fue realizado por los nueve observadores con formación en distintas disciplinas y con diferentes grados de especialidad, entre estos: medicina [1], antropología [3], odontología [4] e ingeniería [1]. Se realizaron cuatro sesiones independientes de fenotipado con un mes de diferencia entre ellas, con el fin de poder ver la tendencia de evaluación a través del tiempo. Las coordenadas *landmarks* resultantes del presente estudio están disponibles (laofunam.com/data) para metaanálisis.

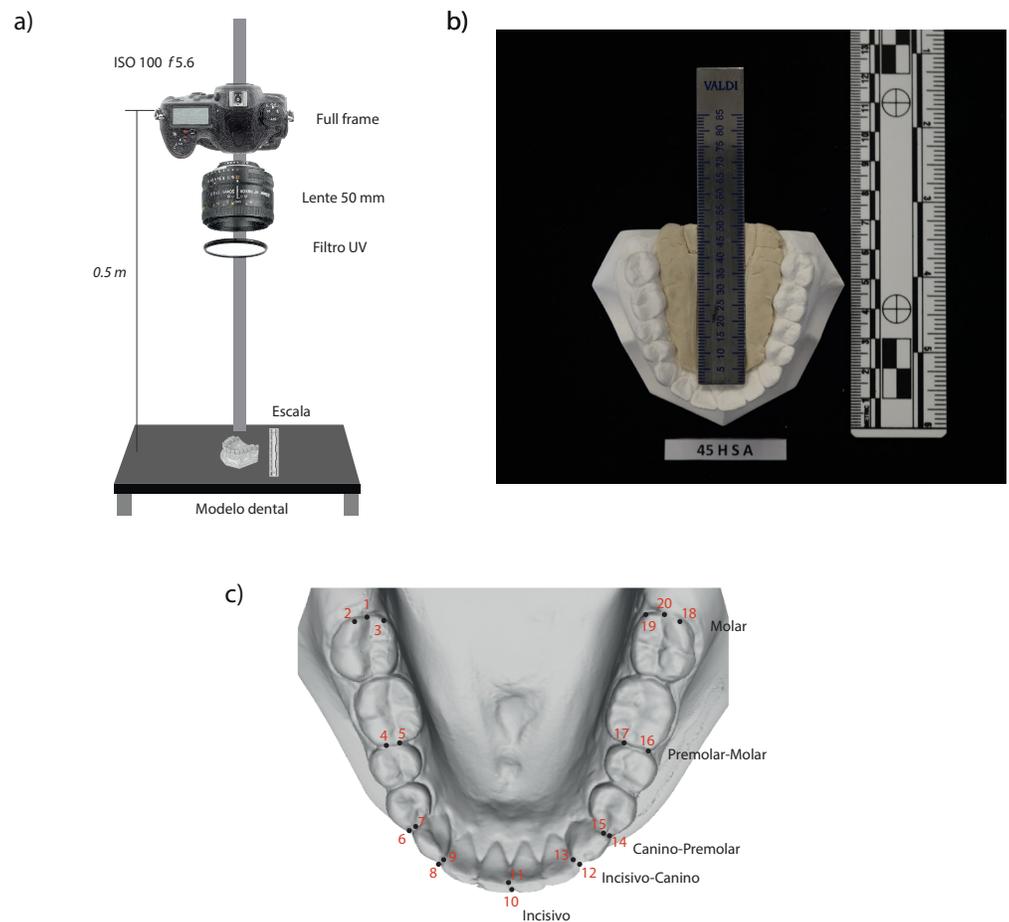


Figura 2. Protocolo de fenotipado de la arcada dental anterior por medio de modelos dentales. a) montaje de fotografía científica para la captura de las fotografías ortogonales de los modelos. B) ejemplo del resultado de las fotografías realizadas. C) protocolo de 20 *landmarks* empleados en el estudio en relación con el grupo dental al que pertenecen.

Diseño experimental

Sobre las coordenadas de *landmarks* se integró a través de la plataforma MorphoJ (33), un archivo único con todas las digitalizaciones realizadas. Sobre este conjunto de datos se realizó un análisis generalizado Procrustes (GPA, 34–36) con el fin de generar un morfoespacio invariante a los efectos de traslación, rotación y escala (34). Todo el procedimiento se realizó de forma generalizada y por observador en un sistema de anidación de datos. Después, se buscó aquellos individuos atípicos en la muestra (*outliers*) calculando la distancia de cada individuo a la forma promedio (*average shape*), lo que proporciona un indicador de cuán inusual es un individuo en relación con la muestra. Luego, por medio del cálculo de un intervalo $\alpha=0.01$ se estableció un punto de corte para toda la muestra. Así es que se podrá reportar la cantidad de individuos fuera de este intervalo para cada observador, por disciplina y especialización (evaluando si existen diferencias significativas entre éstas últimas).

Posteriormente, se generó una matriz de varianza covarianza, como paso previo para realizar un análisis de componentes principales (ACP) como una forma de caracterizar la covariación en los datos. Sobre este morfoespacio resultante se registró la varianza total por observador e iteración, dicho valor fue multiplicado por 100 para mejorar la escala. Además, se calculó una media para todas las iteraciones por observador, un intervalo $\alpha=0.01$ y fue indicada la varianza total de la muestra, todo ello resumido mediante un gráfico de puntos, donde se evaluó visualmente si la tendencia de las iteraciones era o no disminuir en función del tiempo (iteraciones) y si estas eran diferentes entre disciplinas.

Después, se evaluó el error general cometido por observador siguiendo el protocolo de Singleton (37). Para ello se calculó un ANOVA de una vía para cada landmark por observador e iteración, donde los valores del error cuadrático medio (RMSE) fueron analizados como un indicador del error intra-observador (38). El error intraobservador no ha de exceder 0.33 mm o 2%, mientras que las medidas más imprecisas no deben exceder el 5% de error (29).

Posteriormente, se calcularon dos análisis de variación canónica (CVA), uno por observador y otro por observador-iteración sobre las coordenadas de Procrustes con 10,000 permutaciones para significar las diferencias entre grupos. También, como resultado del CVA se obtuvieron matrices de distancias de Mahalanobis y Procrustes que fueron exportadas para el análisis posterior. De igual manera, el CVA permitió conocer la morfología de los cambios entre observadores por cada raíz canónica resultante.

Finalmente, las matrices de Mahalanobis fueron sometidas a un análisis de cluster por medio del algoritmo UPGMA. Esto permitió tener un dendograma con 10,000 permutaciones que agrupara a los diferentes observadores e iteraciones en el análisis, esperando que las cuatro iteraciones y todos los observadores coincidieran entre ellos.

Resultados

Determinación de outliers

Se identificaron 51 individuos fuera del rango de variación normal establecido como el percentil 0.99 (punto de corte 120.36) realizado sobre la distancia de cada individuo a la forma media (*average shape*). Dentro de los observadores se logró identificar que todos ellos presentaron individuos fuera del percentil 99 con 46 casos y únicamente cinco casos con valores extremos (Figura 3). La menor cantidad de individuos fuera del rango fue tres para los observadores 1, 4 y 8 y uno más con 4 individuos (Observador 5). El resto de los observadores tuvieron entre 6 y 11 (Tabla 1). En algún observador se presentaron más de dos valores extremos (Observador 9). De manera general, la mayor cantidad de estos individuos se debieron a errores en la digitalización de los landmarks, por ejemplo, al orden de digitalización y por la apreciación de la colocación de un punto determinado. Además, se constató que había diferencias significativas entre la frecuencia de *outliers* por disciplina y especialización ($p=9.999e-05$).

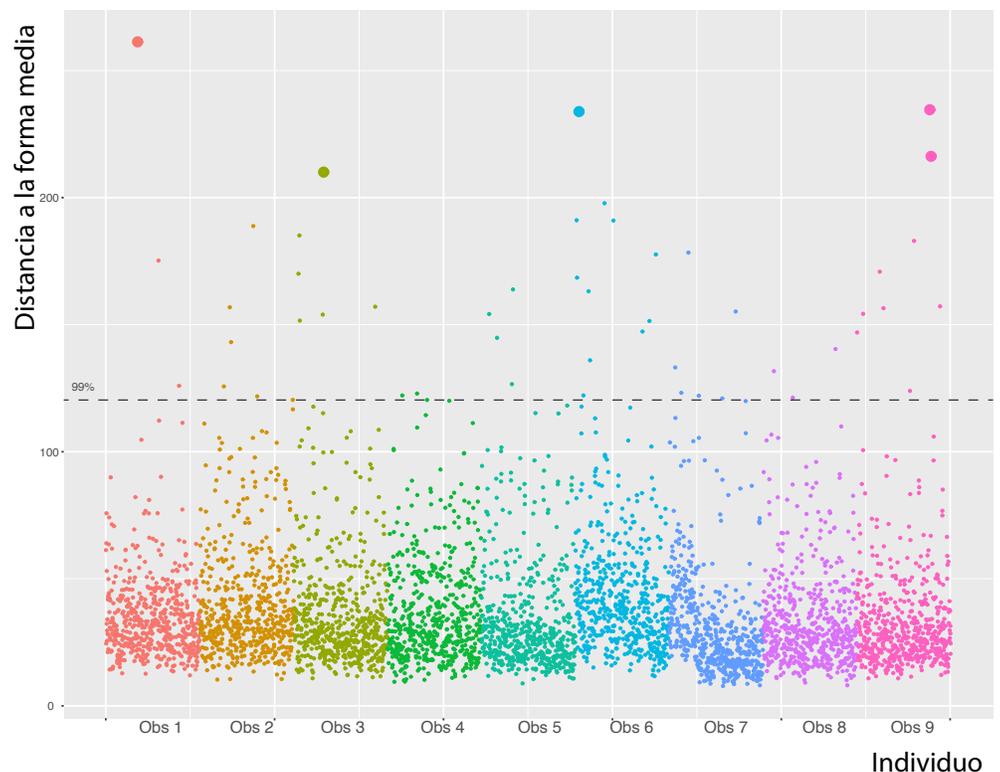


Figura 3. Gráfico de *Manhattan* de la distribución de los individuos del estudio respecto de la distancia a la forma media (*average shape*) por cada observador. Sobre estos valores se ha trazado el punto de corte al 99% lo que define los *outliers*. Se identificaron cinco casos extremos ($d > 200$).

Tabla 1. Número de valores atípicos (*outliers*), valores de varianza, media, total y especialidad por iteración realizada por cada observador en el diseño anidado.

	<i>Outliers</i>	Itera1	Itera2	Itera3	Itera4	Media	Total	Especialidad
Obs 1	3	0.682	0.676	0.701	0.670	0.682	0.681	Medicina
Obs 2	6	0.766	0.742	0.761	0.745	0.753	0.750	Odontología
Obs 3	6	0.741	0.727	0.727	0.753	0.737	0.734	Ingeniería
Obs 4	3	0.732	0.761	0.756	0.755	0.751	0.750	Odontología
Obs 5	4	0.766	0.760	0.749	0.745	0.755	0.753	Odontología
Obs 6	11	0.757	0.722	0.717	0.728	0.731	0.733	Antropología
Obs 7	6	0.713	0.684	0.700	0.702	0.700	0.705	Antropología
Obs 8	3	0.735	0.728	0.731	0.731	0.731	0.729	Antropología
Obs 9	9	0.737	0.733	0.719	0.750	0.735	0.735	Odontología

Análisis de la varianza de los morfoespacios

Los valores de varianza total de los morfoespacios permiten generalizar el comportamiento del experimento realizado. De manera general, se obtuvo una varianza total general de 0.744 con una media entre observadores 0.73 (con valores mínimo=0.67, máximo=0.765 entre iteraciones, Tabla 1). En adición, la varianza total entre las diferentes iteraciones por observador muestra que la tendencia general no es la disminución en función del tiempo (Tabla1, Figura 4) ese patrón únicamente se observó en un observador (Observador 5); además, un observador con un patrón de varianza muy baja (Observador 8). El Anova de una vía por observador resultó en diferencias significativas ($F=16.15$ $p=1.86e-08$), la prueba TukeyHSD mostró 11 comparaciones entre observadores que resultaron significativas (Tabla 2), donde el observador 1 fue quien más diferencias entre observadores acumuló con un total de siete.

Cálculo del error intra e interobservador

De manera generalizada, en la aplicación del método Singleton (Tabla 3) resultó en un porcentaje medio de RMSE intraobservador de 0.0028 (mínimo=0.0003, y máximo=0.0078) resultando en diferencias significativas en el landmark 1 del observador 3 ($p=0.0388$), diluyéndose la significación en la prueba de Tukey *pos hoc* ($p=0.0668$, ver suplementario 1 STabla 1). Los valores de error exceden el rango esperado del 5%.

Diferencias entre observadores

Respecto de los valores de RMSE interobservadores (Tabla 4) se tuvo un valor promedio de 0.0059 (mínimo=0.0029, y máximo=0.0114), resultando en

Tabla 2. Resultados de la prueba *pos hoc* de Tukey sobre la varianza de los morfoespacios para las comparaciones entre observadores.

	Comparación	Diferencia	Inferior	Superior	<i>p</i>
1	Obs5-Obs1	0.00072719	4.35E-04	1.02E-03	0.0000002
2	Obs2-Obs1	0.0007128	4.21E-04	1.00E-03	0.0000003
3	Obs4-Obs1	0.00068736	3.95E-04	9.79E-04	0.0000005
4	Obs7-Obs5	-0.0005495	-8.41E-04	-2.58E-04	0.0000278
5	Obs3-Obs1	0.0005458	2.54E-04	8.38E-04	0.000031
6	Obs7-Obs2	-0.0005351	-8.27E-04	-2.43E-04	0.0000425
7	Obs9-Obs1	0.0005244	2.32E-04	8.16E-04	0.0000585
8	Obs7-Obs4	-0.0005097	-8.02E-04	-2.18E-04	0.0000907
9	Obs8-Obs1	0.00048893	1.97E-04	7.81E-04	0.0001689
10	Obs6-Obs1	0.00048881	1.97E-04	7.81E-04	0.0001695
11	Obs7-Obs3	-0.0003681	-6.60E-04	-7.62E-05	0.0061237

Tabla 3. Resultados de método si para el error intraobservador, se presentan los valores de mínimo (min), máximo (max), media y desviación estándar (de) de los valores de RMSE y porcentajes. Abajo se señala el caso que fue significativo (*).

		mín	máx	media	de
Observador 1	rmse	0.0010	0.0042	0.0026	0.0009
	% rmse	1.9884	8.0680		
Observador 2	rmse	0.0007	0.0056	0.0024	0.0011
	% rmse	1.3775	11.8546		
Observador 3*	rmse	0.0007	0.0054	0.0027	0.0015
	% rmse	1.3152	9.9006		
Observador 4	rmse	0.0006	0.0078	0.0038	0.0022
	% rmse	0.8409	10.3674		
Observador 5	rmse	0.0010	0.0036	0.0020	0.0008
	% rmse	2.5286	8.9120		
Observador 6	rmse	0.0012	0.0048	0.0027	0.0010
	% rmse	2.2243	8.9968		
Observador 7	rmse	0.0010	0.0073	0.0031	0.0015
	% rmse	1.5265	11.7090		
Observador 8	rmse	0.0003	0.0069	0.0030	0.0016
	% rmse	0.5816	11.6211		
Observador 9	rmse	0.0015	0.0074	0.0035	0.0019
	% rmse	2.1565	10.5844		

* $p=0.0388$ landmark 10.

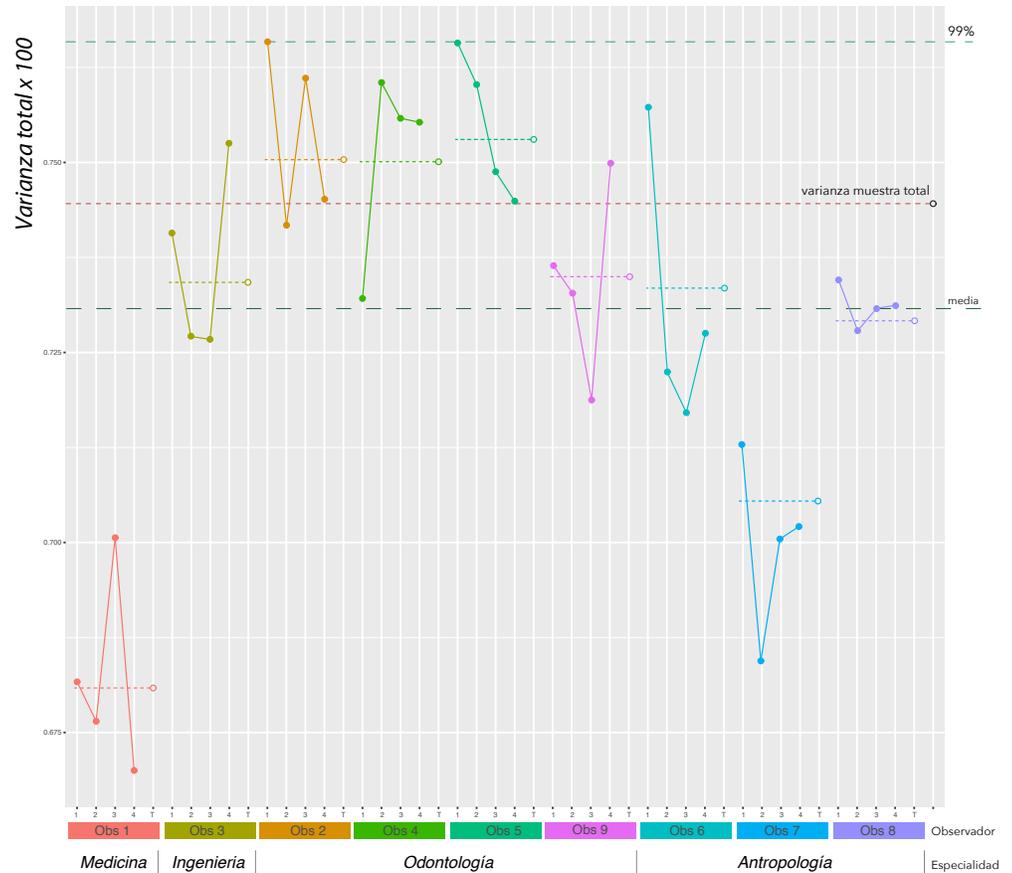


Figura 4. Gráfico de puntos de la varianza x100 de cada una de las cuatro iteraciones realizada por observador en el experimento, ordenadas por especialidad (medicina, ingeniería odontología y antropología). En cada observador se presenta el valor de varianza por cada una de las iteraciones, unidas por una línea para denotar la tendencia. Además, se grafica la varianza total por observador (T) con una línea discontinua del color respectivo. Se trazaron tres líneas referencia para: a) la media de todo el experimento (línea discontinua abierta en negro), b) la varianza muestral total (línea discontinua cerrada roja) y c) el intervalo del 99% de las varianzas obtenidas (línea discontinua abierta verde).

diferencias significativas para el *landmark* 10 ($p=0.0351$) y 11 ($p=0.01729$) de la iteración 2, los *landmark* 10 ($p=7.73e-05$) y 11 ($p=4.26e-06$) de la iteración 3; y los *landmark* 1 ($p=0.0401$), 10 ($p=0.0313$), 11 ($p=0.0395$) y 12 ($p=0.0467$) de la iteración 4 (ver Suplementario 1, STabla 2, 3, 4). Como se puede ver en la tabla 4 todos los valores resultantes de los porcentajes de error están por encima de lo esperado que es un 5 % de error como punto más alto.

Respecto del CVA, se generó un espacio con ocho raíces canónicas para explicar el 100% de la varianza (Tabla 5), los tres primeros ejes explican un total de 77.04% de varianza. Los cambios de forma resultantes permitieron caracterizar que el principal problema de los errores en la digitalización es

Tabla 4. Resultados de método Singleton para el error interobservador, se presentan los valores de mínimo (mín), máximo (máx), media y desviación estándar (de) de los valores de RMSE y porcentajes. Abajo se señala el caso que fue significativo (*).

		mín	máx	media	de
Iteracion 1	rmse	0.0030	0.0091	0.0052	0.0015
	% rmse	2.8742	8.7010		
Iteracion 2*	rmse	0.0032	0.0115	0.0062	0.0021
	% rmse	2.6299	9.3128		
Iteracion 3*	rmse	0.0037	0.0094	0.0062	0.0018
	% rmse	2.9888	7.5317		
Iteracion 4*	rmse	0.0034	0.0113	0.0062	0.0020
	% rmse	2.7822	9.0868		

* con significación estadística

la secuencia de los puntos, es decir la pérdida de la homología estricta, estos individuos son los *outliers* encontrados en el estudio, reportados más arriba. La matriz de Mahalanobis (Tabla 6) resultó significativa en todas las distancias ($p < 0.0001$) con una media de distancias entre observadores de 2.83, un mínimo de 1.38 y un máximo de 4.75. La mayor distancia entre observadores se presenta entre el observador 2 y el 6, seguidos por el observador 1 y 2 (Tabla 6). Estos datos resultaron consistentes con la métrica de Procrustes donde, si bien algunos valores p disminuyeron ($p = 0.0058$ como mínimo) se mantuvo la significación estadística en todas las comparaciones (ver Suplementario 1, STabla 5).

Tabla 5. Resultados del análisis de variación canónica (CVA) para los observadores, se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza explicada por componente principal y varianza acumulada.

	eigenvalues	% Varianza	% Acumulada
CV1	2.17244244	55.902	55.902
CV2	0.46595603	11.99	67.893
CV3	0.35583403	9.156	77.049
CV4	0.32304543	8.313	85.362
CV5	0.21881024	5.631	90.992
CV6	0.17895961	4.605	95.597
CV7	0.09833095	2.53	98.128
CV8	0.07276055	1.872	100

En el análisis por observador e iteración, resultaron 35 raíces canónicas para explicar la totalidad de la varianza, alcanzando el 75.846% en las tres primeras raíces canónicas (ver Suplementario 1, STabla 6). Las matrices de Mahalanobis resultó en tu mayoría significativa ($p < 0.0001$) con solo cinco

Tabla 6. Matriz de distancias de Mahalanobis entre las observaciones resultante del análisis de variación canónica, en color se señalan aquellas distancias de mayor escalar en el estudio. Abajo se indica el valor promedio, mínimo y máximos de distancias.

	Obs1	Obs2	Obs3	Obs4	Obs5	Obs6	Obs7	Obs8
Obs2	4.5255							
Obs3	2.5493	2.9368						
Obs4	3.5053	2.7718	2.3211					
Obs5	3.5223	2.394	2.187	2.5915				
Obs6	2.2812	4.7541	2.6007	3.7283	4.043			
Obs7	2.7301	2.5566	1.3807	2.2141	1.8839	3.172		
Obs8	3.7625	2.2771	2.4589	2.1251	1.8906	4.1601	2.1371	
Obs9	3.8805	2.3764	2.794	2.7734	1.9414	4.1825	2.5249	2.2794

Promedio= 2.83, mínimo= 1.38, máximo=4.75

casos de no significación (ver Suplementario 1, STabla 7), con un valor medio de 3.39 (mínimo=0.74, máximo=7.21). En este caso una gran cantidad de comparaciones realizadas por distancias de Procrustes no resultaron significativas (ver Suplementario 1, STabla 8), lo que da cuenta de las inconsistencias entre observadores.

Finalmente, el dendograma resultante para los observadores resultó en una agrupación del observador 3 y 7 con 87% de clasificaciones correctas en el remuestreo (Figura 5). Los íconos empleados en el dendograma (ramas finales) indican la especialidad y el grado de estudios, desde pasante hasta doctorado. Como se puede ver, si bien existe agrupación por grado académico, este no es sólido bajo los criterios de distancia y porcentaje de permutación. El segundo dendograma por observador e iteración (ver Suplementario 1, SFigura 1) resultó en tres agrupaciones con cuatro de las iteraciones realizadas por observador (Observadores 1, 2 y 8). Además, resultó en tres agrupaciones con tres de las cuatro iteraciones realizadas (Observadores 4, 5 y 9). También, resultó en dos agrupaciones de dos de las cuatro iteraciones realizadas (Observadores 3, 6). El observador 7 no logró ninguna agrupación entre sus iteraciones.

Discusión

El objetivo del presente trabajo fue explorar mediante un diseño experimental anidado, el error de medición en un protocolo de *landmarks* dentales analizando su fluctuación en función del tiempo (iteraciones) para verificar si éste, se comportaba como el dogma predice: disminución del error con la experiencia del observador. Si bien existen muchas formas en las cuales realizar la caracterización del error de medición, aquí se aplicó modelos para la morfometría geométrica y algunas técnicas estadísticas bivariadas y multivariadas.

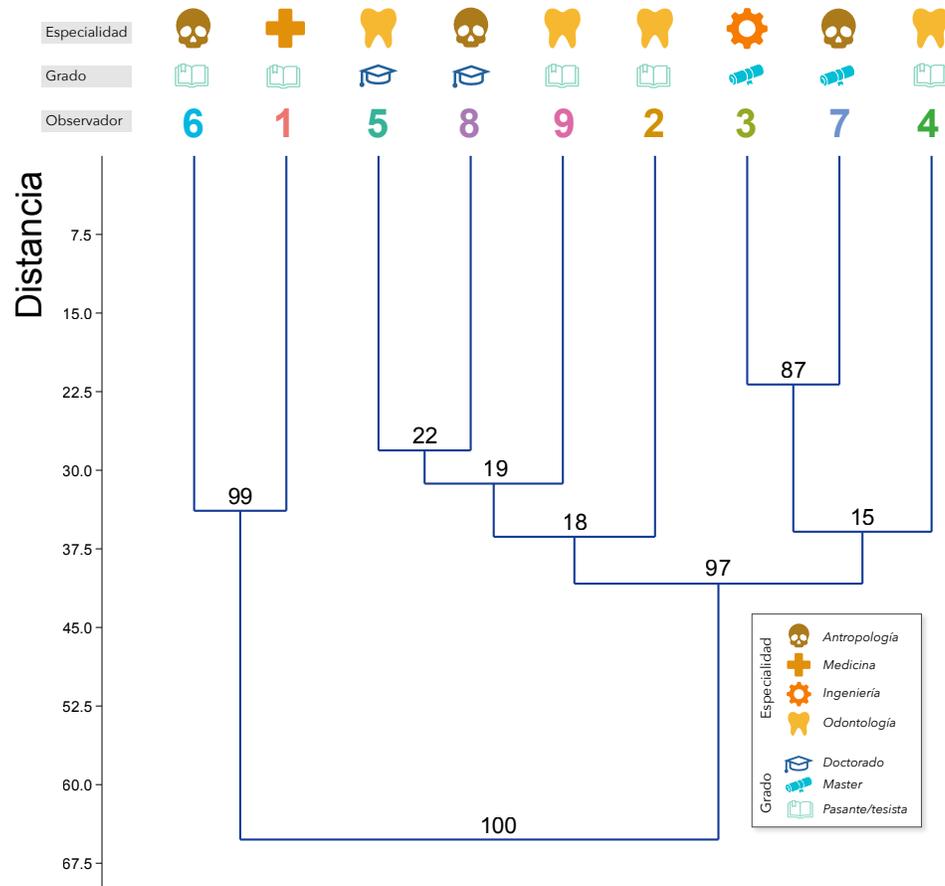


Figura 5. Dendrograma UPGMA de los observadores en el análisis, se grafica la distancia y el porcentaje de agrupación resultante para 10,000 permutaciones. Se ha señalado la especialidad, el grado académico y el observador en la parte superior.

Sobre los outliers

Como primer punto de cualquier protocolo de identificación humana, ya sea para la caracterización del error o para un estudio morfológico particular, la evaluación de los individuos fuera del rango de variación normal (*outliers*) es una exigencia protocolar básica, es por así decirlo, un control de calidad de los datos morfométricos clásicos y geométricos. En un análisis morfológico, la cuantificación precisa de la forma puede verse obstaculizada por varios factores que introducen variaciones de forma sin sentido en un conjunto de datos, por ejemplo: la distorsión de la muestra, la alteración en la preparación, y la digitalización descuidada de los puntos de referencia (39). Para Zimek y Filzmoser, (40) determinar si una observación es un valor atípico es un ejercicio subjetivo. En la morfometría clásica la inspección de outliers no era una práctica sistemática, y a lo sumo se realizaba por medio de la inspección de forma univariada por medio de gráficos boxplots. En la morfometría geométrica la identificación de *outliers* es una práctica de importancia prioritaria, un método subjetivo para detectar valores atípicos es la inspección de gráficos de PCA o

dendrogramas buscando los datos muy separados de la dispersión principal de muestras (39). Algunos programas de MG, incluyen una rutina para la identificación de valores atípicos basada en el ajuste de una distribución normal multivariante y la distancia de Procrustes para cada muestra desde la forma de consenso o promedio, ello en el programa MorphoJ (33). Aquí se preparó un intervalo para el 99% sobre los datos de distancia a la forma media obteniendo 51 casos. Es importante citar que a ninguno de los observadores se les permitió corregir los datos de sus puntos para evaluar de forma real, la cantidad de errores que se presentaron. Las frecuencias de *outliers* fueron significativas entre disciplinas (medicina=1, ingeniería=1, odontología=4, antropología biológica=3) y especialidad (pasante=5, master=2, doctorado=2). Si bien la especialización parece que es importante, es importante acotar que la práctica realizando fenotipado es realmente lo que da la precisión a través del tiempo. En el estudio todos los observadores tuvieron *outliers* relacionados a errores en el posicionamiento de *landmarks*, incluso los participantes con más grado académico, entonces dicho factor no exime a un profesional de caracterizar su error.

Finalmente, existen metodologías multivariadas para la detección de valores atípicos basados en distancias de Mahalanobis (41) lo que también puede ser aplicado a datos como los aquí tratados. Existen también aquellos que basan su identificación en la distancia de Mahalanobis de los primeros tres componentes principales robustos por medio del paquete *mvoutliers* en R (42,43). 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; ver 44). Luego entonces la caracterización de los valores atípicos no debería ser un problema para con el protocolo de error de medición en morfometría geométrica.

Sobre el análisis de la varianza entre los morfoespacios

En morfología, siempre se ha considerado que el nivel de experiencia que presenta el observador determina la cantidad de error, porque el grado de experiencia se encuentra inversamente relacionado con la magnitud del EM esperado (45), esto es el dogma del error de medición, un criterio subjetivo que se ha fijado en la comunidad sin estar basada en evidencia. Para este dogma la experiencia del observador determina la confiabilidad de los datos, disminuyendo en función del tiempo. Según los resultados se constató que dicho fenómeno sucedió en un solo caso de los nueve observadores incluidos en el análisis, donde se observó una disminución gradual de la varianza entre sus digitalizaciones (ver Figura 4, Tabla 1). Es importante señalar que, aunque dicho observador (Observador 5), obtuvo el patrón esperado de disminución de varianza en función de las iteraciones (tiempo), no tuvo los valores más bajos de varianza, por el contrario, su medición de menor varianza no fue cercana a la media de varianza entre observadores (Figura 4). En general, los

observadores tuvieron un patrón aleatorio, con fuertes fluctuaciones entre sus iteraciones, salvo para el observador 8 que su varianza es la mínima de todo el diseño realizado. Es así como, según los resultados, no se soporta el dogma del EM y que, por tanto, siempre, independiente del expertise del observador la caracterización del error debe ser la norma. Se ha demostrado que aunque puede haber una tendencia a la reducción del EM, esto solo ocurre después de una curva de aprendizaje prolongada, midiendo más muestras de las que se utilizan a menudo en los estudios morfométricos (15). Además, reconocer la importancia de que el error intra e interobservador siempre está presente en los estudios de morfometría, incluso en las situaciones más favorables (12,44,46-48).

Igual, se ha reportado que el EM aumenta cuando el rasgo a relevar no presenta un amplio rango de variación fenotípica en su expresión (15,17), empero en el caso de los resultados, los valores de varianza fluctúan mucho entre observadores lo que hace pensar en los efectos de error intra e interobservador. Es así como los datos de este diseño no permiten secundar la afirmación sobre la baja varianza fenotípica y el aumento del error.

Sobre el cálculo del error intraobservador

Existe suma evidencia de que el error intra e inter observador puede modificar completamente los resultados obtenidos (13,49), por ejemplo de los análisis multivariados (44). En general, el error intra observador puede ser despreciado por medio de un buen diseño experimental y el entrenamiento de los observadores (6,14,15). Los resultados demuestran que, si bien los observadores pudieron ser consistentes entre sus iteraciones, algunos puntos siempre resultan problemáticos y el estudio del error en cada estructura particular debe explorar dichas tendencias, caracterizarlas y resolverlas con diseños experimentales, entrenamientos específicos y control de datos. En morfometría geométrica, se ha reportado que algunos puntos presentan mejor consistencia que otros para el error intraobservador, por ejemplo, Menéndez (6), encontró que los *landmarks* nasion, ectoconquio, temporo esfeno-parietal, asterion, y temporo-mandibular presentaron la mayor cantidad de error intraobservador. Los resultados aquí presentados solo identificaron una diferencia entre las observaciones en el *landmark* 10 del observador 3, con una congruencia entre el resto de las digitalizaciones. Corner et al. (50) establece que para reducir el error intraobservador es recomendable que el observador esté familiarizado con el equipo y que se esté entrenado en la localización y variabilidad del *landmark* entre individuos. En este caso incluso para observadores del área no biológica (ingeniería), pero con entrenamiento en biometría, resultó en el único dato con diferencias entre iteraciones.

Sobre las diferencias interobservadores

En antropometría se han evidenciado los efectos del error interobservador sobre el resultado de diferenciación de poblaciones (51) y en general controversias sobre las diferencias encontradas entre observadores, algunas positivas (e.g 50,52 y otras negativas 44,53,54). De manera general, los estudios han caracterizado mayor cantidad de error entre observadores, en el caso de los resultados secunda esta idea, los valores de RMSE obtenidos son del doble que en el caso del error intraobservador.

Se ha constatado que la principal fuente de EM reside en la localización incorrecta de puntos y medidas (55), en este caso y con los datos de los *outliers* podemos precisar que la fuente de error más común aquí fue la posición en la que se colocaron los *landmarks* 1, 10, 11 y 12. El *landmark* 1 es tipo II, y el 10-12 tipo I, se ha afirmado que los *landmarks* 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; (35)) son problemáticos y están asociados a magnitudes altas de EM (56). En los datos aquí analizados solo un punto es tipo II (*landmark* 1) pero este puede estar asociado a la ausencia del segundo o tercer molar. Por otro lado, para el caso de los *landmarks* 10-11 se puede argumentar que el principal efecto es la transposición. Esto es esperable, ya que existen reportes que describen que 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 (10,15,57), y este podría ser una de las explicaciones de la confusión en las digitalizaciones de puntos.

También, es importante destacar que en su mayoría el error interobservador quedó por arriba del 5%, lo que aunado a los valores de varianza y presencia de *outliers*, nos hace inclinarnos por la precaución sobre el error interobservador (44,53,54). El análisis de variación canónica permite complementar al estudio de error interobservador. Aquí, como en otros experimentos similares se intentó ver el efecto del observador e iteración en la diferenciación de individuos. Los resultados indicaron que la mayoría de observadores e iteraciones fueron estadísticamente diferentes, lo que refuerza la idea de que incluso con el mismo entrenamiento y experiencia las diferencias entre la observación es importante entre observadores como otros autores también han destacado (13,49,54). Algunos autores sugieren realizar un examen previo donde se identifique visualmente los puntos y medidas a registrar para reducir sustancialmente el EM (52,58,59), en el caso aquí presentado todos los observadores fueron entrenados previamente para realizar el experimento, de forma conjunta en dos sesiones, por lo que se considera que hubo una estandarización previa.

Finalmente, el estudio de cluster o conglomeradas sobre las distancias de Mahalanobis ha permitido visualizar la relación entre la proximidad de las distancias entre observadores e iteraciones realizadas. Solo en tres observadores se mostró consistencia entre sus iteraciones, uno de ellos también con la menor

varianza entre toda la muestra, pero dos más sin esta característica. Luego, entonces, este resultado secunda la visión sobre la precaución para con el error interobservador.

Comentarios finales

En estudios morfológicos, se ha evidenciado que la magnitud del EM se incrementa con el número de variables registradas (17), para este caso el protocolo de puntos es similar a lo reportado en estudios previos (60,61) por que lo que este factor parece, no fue determinante en el presente estudio. De igual forma, se ha reportado una relación proporcionalmente inversa entre la longitud de pasos involucrados en la obtención de datos y la cantidad de EM que se genera (17,52), para el caso del diseño aquí planteado los pasos son estándar para cualquier trabajo morfogeométrico, por ende, se considera equiparable entre otros trabajos. También se ha generalizado la recomendación de minimizar el intervalo temporal en la recogida de datos, ya que el EM aumenta junto con el intervalo temporal que transcurre al registrar datos de distintos especímenes en variables discretas (62), el estudio consideró intervalos de una semana entre mediciones por lo cuál se considera como independiente cada una de las iteraciones realizadas.

Por ello, como conclusión se recomienda: 1) realizar mediciones por lo menos en dos sesiones independientes, 2) realizar estimaciones de error en la toma métrica para reportar el porcentaje de error en la medición (lo que es independiente del error del modelo), 3) emplear métodos de determinación repetibilidad y reproducibilidad multivariados, 4) realizar controles de datos (e.g. individuos fuera del rango de variación normal) y 5) verificar efectos estadísticos en los datos (e.g. multicolinealidad y heterocedasticidad). Todo lo anterior, permitirá que una dictaminación forense (e.g. perfil biológico, individualizante o identificación) asegure que la descripción reportada es el resultado de variación biológica y no el resultado del error de medición acumulado en la estimación realizada.

Agradecimientos

El presente manuscrito es producto del Proyecto de Desarrollo científico para atender problemas nacionales de Conacyt 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”. A la Dra. Elba Rosa Leyva Huerta, Directora de la Facultad de Odontología UNAM y al Dr. Luis Pablo Cruz Hervert Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación por su colaboración en la conformación de la Colección Odontológica Nacional. A los dos revisores del manuscrito que contribuyeron enormemente a su mejora.

Bibliografía

1. MacLeod N. Geometric morphometrics and geological shape-classification systems. *Earth-Sci Rev.* 2002;59(1-4):27-47.
2. Von Cramon-Taubadel N, Frazier BC, Lahr MM. The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: Theory, methods, and modifications. *Am J Phys Anthropol.* 2007 Sep;134(1):24-35.
3. Merilä J, Björklund M. Fluctuating Asymmetry and Measurement Error. *Syst Biol.* 1995 Mar 1;44(1):97-101.
4. Llamasa L, Contreras L, Arbelaez M. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTC-ISO/IEC 17025. *Sci Tech.* 2007;XIII(35):455-60.
5. IUPAC. Compendium of chemical terminology. Oxford, UK: Blackwell Scientific; 1997. <http://goldbook.iupac.org/>.
6. Menéndez LP. Comparing Methods to Assess Intraobserver Measurement Error of 3D Craniofacial Landmarks Using Geometric Morphometrics Through a Digitizer Arm. *J Forensic Sci.* 2017;62(3):741-6.
7. Byrnes JF, Kenyhercz MW, Berg GE. Examining Interobserver Reliability of Metric and Morphoscopic Characteristics of the Mandible. *J Forensic Sci.* 2017 Jul 1;62(4):981-5.
8. Richtsmeier JT, Paik CH, Elfert PC, Cole TM, Dahlman HR. Precision, repeatability, and validation of the localization of cranial landmarks using computed tomography scans. *Cleft Palate Craniofac J.* 1995 May;32(3):217-27.
9. Wolak ME, Fairbairn DJ, Paulsen YR. Guidelines for estimating repeatability. *Methods Ecol Evol.* 2012;3(1):129-37.
10. Ross AH, Williams S. Testing repeatability and error of coordinate landmark data acquired from crania. *J Forensic Sci.* 2008;53(4):782-5.
11. Greene DL. Fluctuating dental asymmetry and measurement error. *Am J Phys Anthropol.* 1984;65(3):283-9.
12. Utermohle CJ, Zegura SL. Intra- and interobserver error in craniometry: A cautionary tale. *Am J Phys Anthropol.* 1982 Mar 1;57(3):303-10.
13. Pérez-Pérez A, Alesan A, Roca L. Measurement error: Inter-and Intraobserver Variability. An Empiric Study. *Int J Anthropol.* 1990 Jun;5(2):129-35.
14. Pérez S, González P, Bernal V, Del Papa M, Barreiro A, Negro C, et al. El error de observación y su influencia en los análisis morfológicos de restos óseos humanos: Datos de variación continua. *Rev Argentina Antropol Biológica.* 2004;6(1):61-75.
15. Yezzerinac SM, Loughheed SC, Handford P. Measurement Error and Morphometric Studies: Statistical Power and Observer Experience. *Syst Biol.* 1992;41(4):471-82.
16. Zelditch M, Swiderski D, Sheets H, Fink W. Geometric morphometric for biologists: a primer. London: Academic Press; 2004. 488 p.
17. Arnqvist G, Martensson T. Measurement error in geometric morphometrics: empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. *Acta Zool Acad Sci Hungaricae.* 1998;44(1-2):73-96.
18. Taylor B, Kuyatt C. Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. NIST Technical Note 1297-DIANE Publishing; 2009. 20 p.
19. Guyatt GH. Evidence-based medicine. *ACP J Club.* 1991;114(A16).
20. Guyatt G, Cook D, Haynes B. Evidence based medicine has come a long way. Vol. 329, *British Medical Journal.* BMJ Publishing Group; 2004. p. 990-1.
21. Sackett DL, Rosenberg WMC, Gray JAM, Haynes RB, Richardson WS. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ.* 1996;312(7023).
22. Sackett DL. Evidence-based medicine. *Semin Perinatol.* 1997 Feb;21(1):3-5.
23. NAS. Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward. 2009.
24. Arnqvist G. Measurement error in geometric morphometrics Empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape.pdf. *Acta Zool Acad Sci Hungaricae.* 1998;44:73-96.
25. Rabinovich S. Measurement Errors: theory and practice. New York: Amer Inst of Physics; 1994. 284 p.
26. Rohlf FJ. Bias and error in estimates of mean shape in geometric morphometrics. *J Hum Evol.* 2003;44(6):665-83.
27. Muñoz-Muñoz F, Perpiñán D. Measurement Error in Morphometric Studies: Comparison between Manual and Computerized Methods. *Ann Zool Fennici.* 2010;47(1):46-56.
28. Muñoz-Muñoz F, Sans-Fuentes MA, López-Fuster MJ, Ventura J. Evolutionary modularity of the mouse mandible: dissecting the effect of chromosomal reorganizations and isolation by distance in a Robertsonian system of *Mus musculus domesticus*. *J Evol Biol.* 2011;24(8):1763-76.
29. Singleton M. Patterns of cranial shape variation in the Papionini (Primates: Cercopithecinae). *J Hum Evol.* 2002;42(5), 547.

30. Neale W, Hessel D, Terpstra T. Photogrammetric measurement error associated with lens distortion. *SAE Tech Pap.* 2011;01-0286:1-54.
31. Kieser JA, Bernal V, Neil Waddell J, Raju S. The Uniqueness of the Human Anterior Dentition: A Geometric Morphometric Analysis. *J Forensic Sci.* 2007 May 1;52(3):671-7.
32. Rohlf FJ. The tps series of software. *Hystrix.* 2015 Jun 12;26(1):1-4.
33. Klingenberg CP. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Mol Ecol Resour.* 2011;11(2):353-7.
34. Rohlf FJ, Slice DE. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Syst Zool.* 1990;39(1):40-59.
35. Bookstein FL. *Morphometric tools for landmark data.* Cambridge, Massachusetts, USA: Cambridge University Press; 1991. 435 p.
36. Goodall C. Procrustes Methods in the Statistical Analysis of Shape. *J R Stat Soc Ser B.* 1991;53(2):285-339.
37. Singleton M. Patterns of cranial shape variation in the Papionini (Primates: Cercopithecinae). *J Hum Evol.* 2002;42(5):547-78.
38. Sokal RR, Rohlf FJ. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research.* San Francisco: W. H. Freeman; 1995. 880 p.
39. Renner MAM, Brown EA, Wardle GM, Renner MAM, Brown EA, Wardle GM. Averaging v. outlier removal. Decrypting variance among cryptic *Lejeunea* species (Lejeuneaceae: Jungermanniopsida) using geometric morphometrics. *Aust Syst Bot.* 2013 Apr 12;26(1):13-30.
40. Zimek A, Filzmoser P. There and back again: Outlier detection between statistical reasoning and data mining algorithms. *Wiley Interdiscip Rev Data Min Knowl Discov.* 2018 Nov 1;8(6):e1280.
41. Viscosi V, Fortini P, Slice DE, Loy A, Blasi C. Geometric morphometric analyses of leaf variation in four oak species of the subgenus *Quercus* (Fagaceae). <http://dx.doi.org/101080/11263500902775277>. 2009 Nov;143(3):575-87.
42. Filzmoser P. Identification of Multivariate Outliers: A Performance Study. *Austrian J Stat.* 2005 Apr 3;34(2):127-138-127-138.
43. Filzmoser P, Gregorich M. Multivariate Outlier Detection in Applied Data Analysis: Global, Local, Compositional and Cellwise Outliers. *Math Geosci* 2020 528. 2020 Apr 2;52(8):1049-66.
44. Jamison PL, Zegura SL. A univariate and multivariate examination of measurement error in anthropometry. *Am J Phys Anthropol.* 1974 Mar 1;40(2):197-203.
45. Gordon CC, Bradtmiller B. Interobserver error in a large scale anthropometric survey. *Am J Hum Biol.* 1992;4(2):253-63.
46. Utermohle CJ, Zegura SL, Heathcote GM. Multiple observers, humidity, and choice of precision statistics: Factors influencing craniometric data quality. *Am J Phys Anthropol.* 1983 May 1;61(1):85-95.
47. Gaito J, Gifford EC. Components of Variance in Anthropometry. *Hum Biol.* 1958;30(2):120.
48. Kemper HCG, Pieters JJJ. Comparative study of anthropometric measurements of the same subjects in two different institutes. *Am J Phys Anthropol.* 1974 May 1;40(3):341-3.
49. Perez SI, Gonzalez PN, Bernal V, Del Papa M, Barreiro A, Negro C, et al. El error de observación y su influencia en los Análisis morfológicos de restos óseos humanos. Datos de variación continua. *Rev Argentina Antropol Biológica.* 2004;6(1):61-75.
50. Corner B, Lele S, Richtsmeier R. Measuring precision of three-dimensional landmark data. *J Quant Anthr.* 1992;3:347-59.
51. Bennett KA, Osborne RH. Interobserver measurement reliability in anthropometry. *Hum Biol.* 1986;58(5):751-9.
52. Sholts SB, Wärmländer SKTS, Flores LM, Miller KWP, Walker PL. Variation in the measurement of cranial volume and surface area using 3d laser scanning technology. *J Forensic Sci.* 2010 Jul;55(4):871-6.
53. Robinson C, Terhune CE. Error in geometric morphometric data collection: Combining data from multiple sources. *Am J Phys Anthropol.* 2017 Sep 1;164(1):62-75.
54. Shearer BM, Cooke SB, Halenar LB, Reber SL, Plummer JE, Delson E, et al. Evaluating causes of error in landmark-based data collection using scanners. *PLoS One.* 2017 Nov 1;12(11):e0187452.
55. Ossenberg N. Within and between race distance in population studies based on discrete traits of the human skull. *Am J Phys Anthr.* 1979;45:701-16.
56. Algee-Hewitt BFB, Wheat AD. The reality of virtual anthropology: Comparing digitizer and laser scan data collection methods for the quantitative assessment of the cranium. *Am J Phys Anthropol.* 2016 May 1;160(1):148-55.
57. Kouchi M, Mochimaru M, Tsuzuki K, Yokoi T. Interobserver errors in anthropometry. *J Hum Ergol (Tokyo).* 1999 Dec 15;28(1-2):15-24.
58. Fourie Z, Damstra J, Gerrits PO, Ren Y. Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. *Forensic Sci Int.* 2011 Apr 15;207(1-3):127-34.
59. Sholts SB, Flores L, Walker PL, Wärmländer SKTS. 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. *Int J Osteoarchaeol*. 2011 Sep 1;21(5):535–43.
60. Jasso-Cuéllar J, Gil-Chavarría I, Quinto-Sánchez M. Anterior dental arch shape and human identification: Kieser et al. method applied to 2D-3D dental models in Mexican population. *Forensic Sci Int Reports*. 2020 Nov 1;2:100161.
 61. Sheets H., Bush PJ, Bush MA. Patterns of Variation and Match Rates of the Anterior Biting Dentition: Characteristics of a Database of 3D-Scanned Dentitions. *J Forensic Sci*. 2013 Jan;58(1):60–8.
 62. Molto JE. The assessment and meaning of intraobserver error in population studies based on discontinuous cranial traits. *Am J Phys Anthropol*. 1979;51(3):333–44.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Comparación analítica entre video y simulación de una precipitación

Vicente Torres¹✉¹Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

✉ vicentz@gmail.com

Resumen

Se estudió un video público de una precipitación accidental ocurrida desde una altura de 3m. Mediante análisis de video, se obtuvieron las dimensiones de la persona, el alcance al nivel del piso y la rapidez mínima de lanzamiento (1.35 ± 0.14 m/s). Estos datos fueron los parámetros de entrada para construir una simulación virtual tridimensional. Por medio de un análisis retroproyectivo e iterativo, se estableció la postura del personaje virtual antes de iniciar la caída para que el programa calculará su posición y postura final. Se presenta a detalle la mejor reconstrucción que se aproxima a la escena fijada en video. El resultado de la simulación es robusto a cambios en definiciones específicas de entrada, como la elevación de uno de los brazos (en un intervalo de 30°); pero es inestable a pequeñas variaciones en otros parámetros, como la velocidad de lanzamiento (en una diferencia de 0.3 m/s). Las comparaciones entre las características (cuantitativas y cuantitativas) de la postura final simulada y en el video, permiten afirmar que el resultado de la reconstrucción es: aceptable. Este estudio comparativo ayuda a orientar reconstrucciones virtuales de hechos mecánicos y establecer una cota preliminar a su exactitud: en la velocidad final de 75.2%.

Palabras clave: reconstrucción de hechos mecánicos, biomecánica, video análisis.

Abstract

A public video of accidental precipitation that occurred from a height of 3 m was studied. Via video analysis, the dimensions of the person, the reach at ground level, and the minimum launch speed (1.35 ± 0.14 m/s) were obtained. These data were input parameters to build a three-dimensional virtual simulation. Through a retro-projective and iterative analysis, the virtual character's posture was established before starting the fall so that the program will calculate its position and final posture. The best reconstruction that approximates the scene fixed on video is presented in detail. The simulated result is robust to changes in specific input definitions, such as the elevation of one of the arms (in an interval of 30°); but it is unstable to slight variations in other parameters, such as the launch speed (in a difference of 0.3 m/s). Comparisons of characteristics (quantitative and quantitative) of the simulated final posture and in the video allow us to affirm that the result of the reconstruction is acceptable. This comparative study helps guide virtual reconstructions of mechanical events and establish a preliminary accuracy level: at the final speed of 75.2%.

Keywords: reconstruction of mechanical events, biomechanics, video analysis.

Datos del artículo:

Cita: Torres V. 2022. Comparación analítica entre video y simulación de una precipitación. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(1) 23-37 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sánchez

Recibido: 3 Noviembre 2021

Aceptado: 17 febrero 2022.

Publicado: 28 abril 2022.

Introducción

Los medios audiovisuales enriquecen tanto la investigación forense como la exposición de datos de prueba durante las audiencias (1,2,3,4). Además de facilitar la explicación y captar la atención de los juzgadores, estos materiales pueden convertirse en representaciones de alta fidelidad de la realidad, siempre y cuando se sustenten sobre fundamentos físicos. Por estas razones, cada vez son más los profesionales del quehacer forense en aprovechar las tecnologías de representación virtual de hechos, en particular los mecánicos. Tal tendencia ha ocupado a investigadores en desarrollar y examinar programas de cómputo dedicados a la simulación de incidentes.

Por su cercanía al campo de la ingeniería, la pericial de hechos de tránsito ha sido una de las que más se ha beneficiado de tales sistemas de simulación para investigar colisiones de vehículos contra objetos duros o blandos (5,6,7). Así, en el mercado encontramos una gran variedad de software especializado para analizar particularidades de un choque. Entre las marcas más populares destacan nombres como: MADYMO, RACTT, Faro, Virtual-Crash, entre otras.

Por otro lado, situaciones que no involucran necesariamente la colisión de algún vehículo también se auxilian de la reconstrucción virtual aunque son menos frecuentes tanto en el quehacer como en la literatura académica. Algunas aplicaciones se encuentran en las especialidades relacionadas con fallas estructurales (8), trayectorias balísticas (9), precipitaciones de personas (10), entre otras.

La carencia de literatura sobre la aplicación de simulaciones en temas forenses es clara entre los países subdesarrollados. En tales lugares, es notoria la falta de difusión de estas herramientas digitales, provocando que los practicantes —en particular de criminalística y de fiscalía— desconozcan su utilidad para fortalecer la investigación y su utilidad suasoria en la corte. La mejor forma de suprimir tal abandono es mediante la divulgación del desempeño de tales programas para estudiar casos concretos de interés forense.

Así, este manuscrito presenta el estudio de una precipitación fijada en video. La exposición comienza con una diferenciación entre animación y simulación. Después, se establecen los fundamentos forenses esenciales del acto de precipitación. Se detallan las características y análisis de las imágenes para obtener las distancias y velocidades claves del movimiento. Luego, se explica la construcción del modelo virtual más fiel a la precipitación videograbada. En la sección de resultados se comparan parámetros del video y modelo, del que mostramos la robustez de su resolución. La coherencia entre el movimiento grabado en video y el simulado, son parte de la sección de discusión sobre la plausibilidad y alcances de este tipo de herramientas. Por último, presentamos las conclusiones del trabajo.

Distinción entre animaciones y simulaciones

Por sus consecuencias en la vida de las personas, es trascendental en el quehacer forense distinguir entre una animación y una simulación por computadora. Tanto los programas de animación y simulación pretenden reproducir la sensación de movimiento en las figuras representadas. Sin embargo, los programas de animación crean estos efectos únicamente a través de medios artísticos y es libre el movimiento de los cuerpos. En contraste, los programas de simulación cuentan con restricciones con el objetivo de imitar con realismo el movimiento de los cuerpos. Las condiciones impuestas son diversas, abarcan desde las dimensiones de los objetos, la amplitud permitida a las rotaciones, translaciones y deformaciones, así como su respuesta ante la presencia de fuerzas, como la gravedad. Las cuatro funciones esenciales de los programas de simulación son:

1. Añadir texturas a las superficies creadas.
2. Desarrollar entornos de iluminación.
3. Enfocar imágenes desde varios puntos de vista.
4. Reproducir movimientos de los objetos.

Las simulaciones han sido parte importante del progreso del quehacer en áreas diversas como ingeniería, química, biología y medicina; también pueden ser parte de reconstrucciones de hechos mecánicos en incidentes diversos, entre los cuales están las precipitaciones.

Fundamentación de precipitaciones

Este documento refiere al término “precipitación” al movimiento de un cuerpo al caer por debajo de su plano de sustentación, sin diferenciar la altura de la caída. Las precipitaciones pueden causar la muerte o discapacidad, debido a los traumas severos que sufren las víctimas (11,12). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, internacionalmente las caídas y precipitaciones son la segunda causa de muerte por traumatismos involuntarios, con 684,000 fallecimientos anuales. De hecho, cada año se producen más de 37 millones de caídas de tal gravedad que requieren hospitalización (13).

La interrogante de investigación en la mayoría de las precipitaciones se centra en determinar si el hecho fue consecuencia de una maniobra accidental, suicida u homicida. La reconstrucción de estos casos suele ser confusa pues en pocas ocasiones los testigos dan cuenta objetiva y a detalle del suceso, menos frecuente es registrar en video el movimiento completo. Peor aún, en ocasiones la zona del impacto o donde se localiza el cuerpo es documentada con imprecisiones. Todo esto deriva en que los resultados visuales y numéricos de las

reconstrucciones mecánicas sean fundamentales para sustentar la plausibilidad de la teoría del caso en cuestión.

Inhwan Han clasificó en ocho rubros generales las posturas de las precipitaciones (14), pero el autor consideró que el suicidio es más frecuente en una postura de pie y frente al vacío, omitiendo otras posturas factibles. La idea de categorización es útil en la investigación general y para este trabajo particular, por eso la presentamos, pero considerando los casos de suicidio con movimiento (15); por lo que añadimos esta categoría singular. La figura 1 muestra la versión mejorada de categorización de diferentes tipos de precipitación. Las causas están divididas en tres grupos: accidente, suicidio y homicidio. Por su parte, cada grupo se dividió considerando posturas típicas al inicio del movimiento de caída.

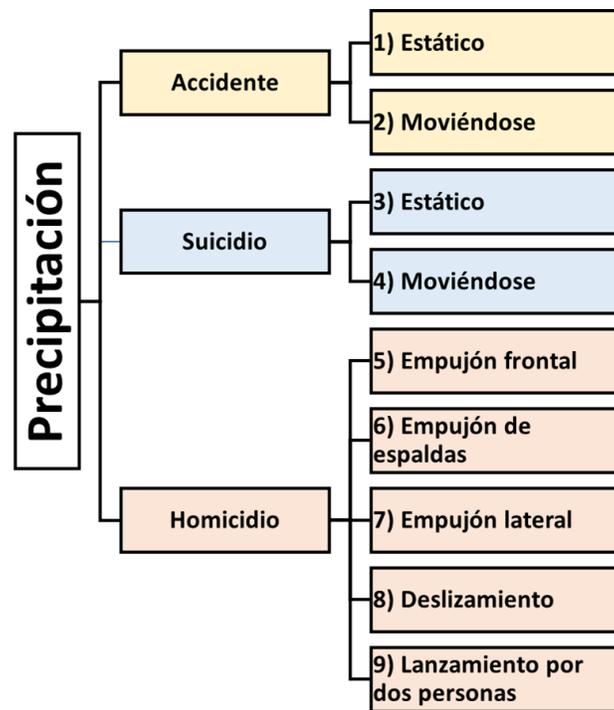


Figura 1. Clasificación de nueve tipos de precipitaciones.

Con el propósito de observar los aspectos biomecánicos de las precipitaciones y compararlas con simulaciones numéricas, en algunos trabajos se ha recurrido a cadáveres o maniqués físicos (16), sin embargo al ser cuerpos inertes extendidos dificultan su montaje auto-sostenido y su posterior desplazamiento. También se han empleado voluntarios quienes maniobran en diversas circunstancias; a pesar de ello, por cuestiones éticas, las condiciones de seguridad y de preparación de los participantes subordinan la espontaneidad en el desarrollo de la precipitación (17). Finalmente, en otras investigaciones se han utilizado videos de incidentes (18,15), si bien carecen de control, cuentan con la naturalidad en la reacción, por lo que su movimiento es un referente

verosímil en situaciones forenses concretas. En esta ocasión, presentamos un análisis comparativo de un video público de una precipitación accidental con una simulación por computadora.

Objeto de estudio

Para esta investigación se eligió el video de la precipitación de una clavadista. Las imágenes muestran desde un trampolín de 3m, a una persona resbalando y precipitándose; gira en el aire y se zambulle en la fosa acuática que amortigua el impacto. Así, podemos conjeturar que la persona resultó sin heridas graves en el accidente. El movimiento fue registrado con una cámara fija en toma lateral respecto a la orientación de la estructura del trampolín. En competencias y entrenamientos, es frecuente utilizar esta posición para observar el desempeño deportivo.

De acuerdo con TinEye, un buscador de acceso público y especializado en imágenes, este video fue divulgado por primera vez en la red social Reddit, con el título “WCGW jumping to the pool”, en la comunidad Whatcouldgowrong, el 13 de julio del año 2020. Las imágenes han logrado cierta popularidad en Internet. Los fotogramas de 720×802 píxeles se reproducen a 30 f/s para conformar 5 s de duración y ocupando 233 KB de almacenamiento. El video cuenta con la suficiente calidad pixelar para distinguir a detalle el movimiento, pero sin alcanzar a diferenciar algún rasgo del rostro, por lo que la identidad de la clavadista permanece en el anonimato.

Entonces, siendo un material multimedia que exhibe desde el inicio una precipitación accidentada, de carecer de datos para identificar a la persona y que la escena es apta para ser vista por el público en general: el video es técnica y éticamente idóneo para ser analizado y presentado con fines académicos. Por ejemplo, para estudiar la eficacia de una reconstrucción virtual.

Videoanálisis de la precipitación

El video fue analizado mediante el programa Tracker-physics, el cual ya se ha utilizado para estudiar movimientos mecánicos de interés forense y se ha reportado en publicaciones académicas (19,18). Siendo así que, el software es adecuado para examinar nuestro caso.

Las características del video permiten evitar el uso de filtros correctores de efectos o ruidos provocados por el sistema óptico o del movimiento de la cámara, tampoco requiere mejoras de contraste o brillantez. La altura de 3 m del trampolín al nivel de la superficie del agua de la alberca fue la referencia para transformar la distancia en píxeles a metros. Entonces, la medida de la altura de la clavadista fue 1.5 ± 0.02 m. También se midieron la distancia horizontal donde la cabeza impactó contra el agua, así como el centro de masa: 0.76 ± 0.02 m y 1.2 ± 0.02 m, respectivamente. La figura 2 muestra la relación de la estura y el

centro de masa de la persona precipitada; además de la altura y distancia de caída. El análisis se realizó entre los cuadros 49 y 85, es decir, en 36 de los 140 fotogramas que conforman el video. El programa permite marcar manualmente puntos de interés en la imagen y automáticamente se recorre al siguiente cuadro para continuar con el proceso de registro. Al final, se obtienen coordenadas bidimensionales en función del tiempo. Para este trabajo se señalaron sendas trayectorias del centro de la cabeza y a la altura de la cadera (cerca del centro de masa). El programa reporta cálculos de velocidad; por ejemplo, al momento del resbalón (entre los cuadros 54 y 56) la rapidez fue de 1.5 ± 0.05 m/s.



Figura 2. Captura de pantalla del cuadro 49 con algunas marcas de medición del programa Tracker-Physics.

Cálculo de la rapidez mínima de lanzamiento

Es conveniente calcular la magnitud de la velocidad mínima de lanzamiento para que el centro de masa del cuerpo precipitado alcance su posición final respecto a la altura y distancia a la base del punto donde comenzó la caída (20). Si (x,y) representan las coordenadas del centro de masa del cuerpo precipitado y si $g = 9.8$ m/s², la ecuación a utilizar es:

$$v_{0min} = \sqrt{g(y + \sqrt{y^2 + x^2})} \tag{1}$$

Entonces, las coordenadas cartesianas de la precipitación fueron: $(x,y) = (1.2, -3.75)m$, obteniendo una rapidez mínima de lanzamiento de $1.35 \pm 0.14m/s$. Esta rapidez cercana a la reportada como la típica de caminata: $1.4 m/s$ (21,22). Además es congruente con la medición a través de los datos del video. Con esta información podemos construir el modelo virtual.

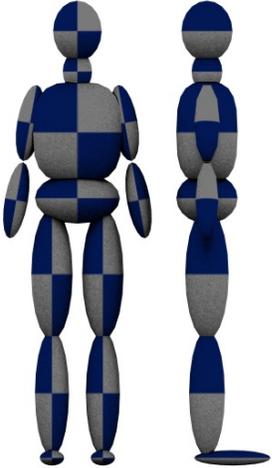
Construcción del modelo virtual

Utilizamos el programa Virtual-Crash 3, un software especializado en reconstrucción de hechos de tránsito (6,7). Sus desarrolladores han sugerido que también puede ser útil para estudiar la biomecánica de precipitaciones. Al entorno de trabajo se incorporaron los elementos indispensables para representar esta precipitación. Primero, se añadieron los objetos arquitectónicos. La plataforma y el trampolín (con una inclinación descendente de 2°) se construyeron mediante dos estructuras rectangulares rígidas carentes de movimiento. Además, para representar el agua y el sitio donde impactó la cabeza de la clavadista contra la superficie en la fosa se colocaron una caja de color azul-agua y un disco rojo, ambos libres de interacción mecánica.

El modelo de la clavadista utiliza los datos medidos a través del análisis del video. La altura del personaje virtual es de 1.5 m. Una caída de tres metros de una persona es insuficiente para apreciar los efectos de resistencia entre el cuerpo y el aire; entonces, la trayectoria del centro de masa es independiente de la masa del cuerpo. Sin embargo, el programa exige definir la masa del personaje virtual. Conjeturando que la persona se encuentra en su “peso ideal”, se le asignó una masa de 55 kg. El modelo cuenta con articulaciones y secciones de diferente masa, lo que le permite movimientos más realistas. La distribución de la masa entre secciones del modelo se detalla en la tabla 1. La apariencia de la clavadista es la genérica del programa, su aspecto no afecta el desempeño de la simulación. Para los fines de este documento, esta representación es suficiente.

Las investigaciones forenses son retro-proyectivas, por lo cual los indicios (i.e. efectos finales) son la guía para encontrar los estados iniciales (i.e. causas). Por ejemplo, se utilizan los datos de la postura final (al momento de que la cabeza impacta contra el agua) con el objetivo de determinar la postura inicial (de la persona sobre el trampolín al inicio de la precipitación). El proceso comienza proponiendo una postura inicial y se evalúa el resultado final. Después, se corrigen las posiciones iniciales de los elementos para continuar en el ciclo, hasta obtener una postura final lo suficiente coherente con la documentada. La figura 3 muestra un esquema de este proceso. En este caso, contamos con datos tanto de la postura inicial (cuadro 56 del video) como la que llamamos final (cuadro 85 del video). La meta es determinar la precisión que puede alcanzar el programa de simulación para obtener estas dos posturas, las que se compararon mediante parámetros de distancia, ángulo y la velocidad alcanzada.

Tabla 1. Apariencia y porcentajes de la masa por segmento del modelo virtual.

Apariencia frontal y lateral sin superficie del modelo virtual	Nombre del segmento	Porcentaje de masa (%)
	1) Cabeza	6.41
	2) Cuello	3.85
	3) Torso	28.21
	4) Cadera	15.38
	5) Brazo superior izq.	2.82
	6) Brazo inferior izq.	1.92
	7) Brazo superior der.	2.82
	8) Brazo inferior der.	1.92
	9) Fémur izq.	11.54
	10) Pierna inferior izq.	5.13
	11) Pie izq.	1.67
	12) Fémur der.	11.54
	13) Pierna inferior der.	5.13
	14) Pie der.	1.67

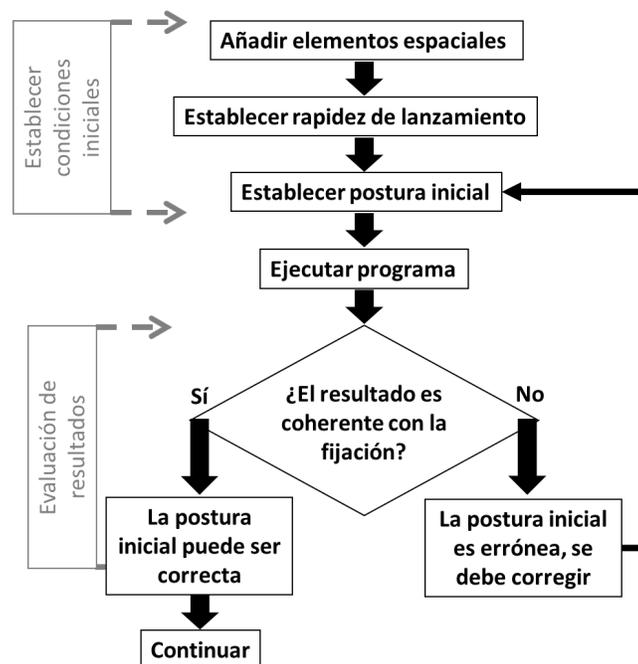


Figura 3. Diagrama de flujo que resume el trabajo para obtener la postura final utilizando los datos de entrada de la postura inicial.

Resultados

Las figuras 4 y 5 muestran diferentes vistas de la postura inicial y final, respectivamente. La dinámica de las posturas –a diferentes vistas– está disponible al lector mediante un video en Internet (23). La figura 6 presenta las capturas de pantalla del video y la simulación (en toma lateral izquierda). Mediante un efecto estroboscópico, en cada cuadro se muestran tres posturas: la inicial, una intermedia (en diferentes tiempos entre video y simulación) y la final. La figura 7 detalla la postura final tanto en el video como en la simulación.

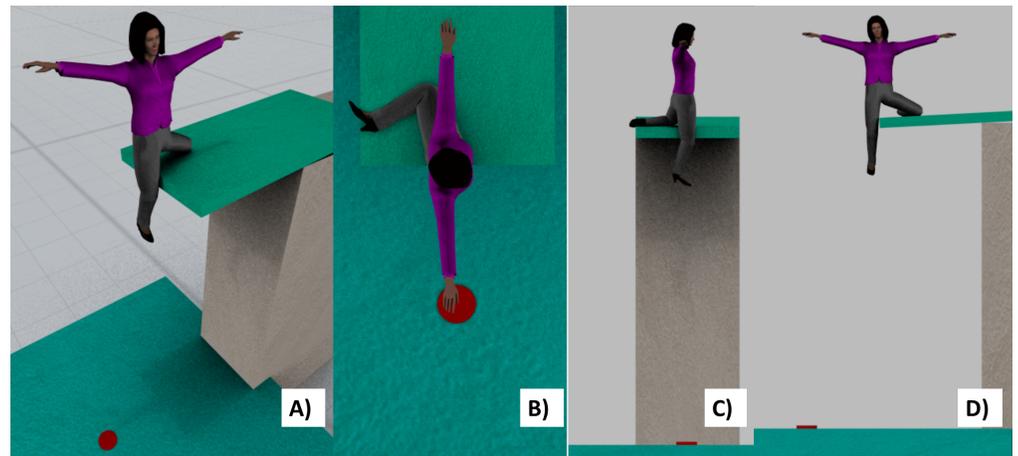


Figura 4. Postura inicial propuesta desde cuatro ángulos diferentes: A) perspectiva, B) cenital, C) frontal y D) lateral izquierdo.

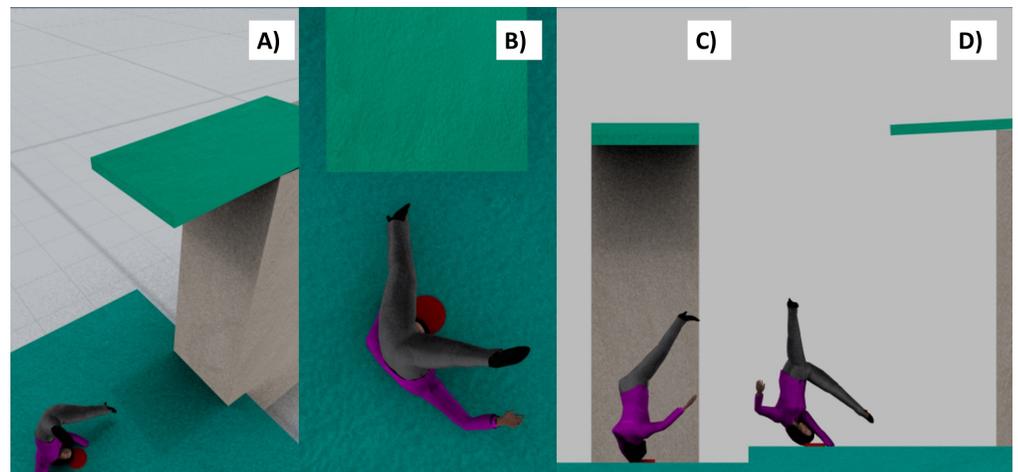
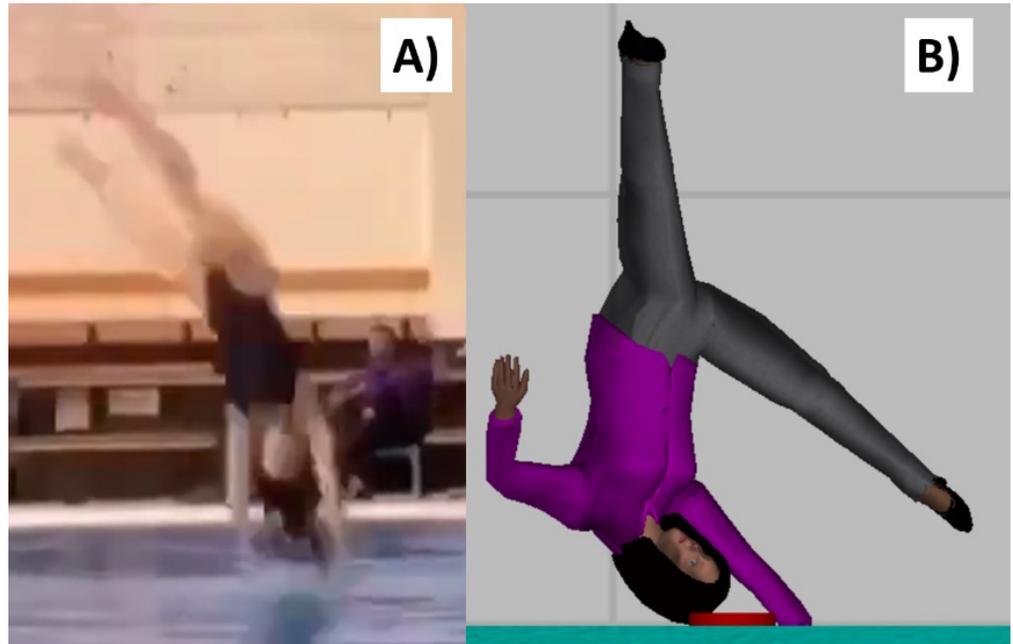


Figura 5. Postura inicial propuesta desde cuatro ángulos diferentes: A) perspectiva, B) cenital, C) frontal y D) lateral izquierdo.

Figura 7. Detalle del cuadro considerado como postura final (antes de que la cabeza se zambulla) A) del video y B) de la simulación.



Robustez de la respuesta

La respuesta de la simulación (al tiempo = 0.858 s) en función de los parámetros se ilustra en las figuras 8 y 9. La figura 8 muestra las respuestas en la postura final como consecuencia de variar el ángulo de elevación del brazo izquierdo en tres posturas con diferencias consecutivas: -15° , 15° y 45° . Por su parte, la figura 9 presenta el resultado de las posturas finales –en tomas cenital y frontal– cuando se varía la velocidad de lanzamiento de 1.2 a 1.5 m/s. La respuesta de la robustez aclara cuales son los parámetros más críticos; es decir, los que con una pequeña variación alteran de modo general la respuesta de la posición de interés: la postura final en un hecho forense, o en este caso el ingreso a la piscina.

Comparaciones cuantitativas entre video y simulación

El video y su simulación muestran cualidades similares en la posición final. Tales como la cabeza del personaje virtual alcanzando la distancia del círculo rojo, la orientación del tronco y la cabeza favoreciendo la vista lateral izquierda, el brazo derecho desdoblado al ingresar en la fosa, la posición de la cabeza-pies apuntando el trampolín hacia afuera, entre otras semejanzas. Más aún, también existen similitudes entre algunas mediciones clave en que derivarían a la posición estática. Por ejemplo, el ángulo entre la horizontal, la cabeza y la pierna derecha

es 113° y en la simulación es 99.4° ; son similares estos ángulos en 88.0%. El tiempo de vuelo en el video es 0.767 s y en la simulación es 0.859 s; la similitud del tiempo transcurrido entre el comienzo del movimiento hasta que la cabeza choca con el agua es 89%. La rapidez máxima que alcanza la cabeza durante la precipitación es 7.66 m/s y en la simulación es 7.33 m/s, las dos cantidades son similares en 95.6%. Finalmente, en el video la cabeza alcanza el nivel del agua con una rapidez de 5.35 m/s, mientras que en la simulación es 7.11 m/s, la similitud es 75.2%. Tanto con las comparaciones cualitativas y cuantitativas podemos validar el grado de exactitud de la simulación para representar al video.

Figura 8. Ejemplo de la estabilidad de la respuesta al variar en ángulo del brazo izquierdo en A) - 15° , B) 15° y C) 45° .

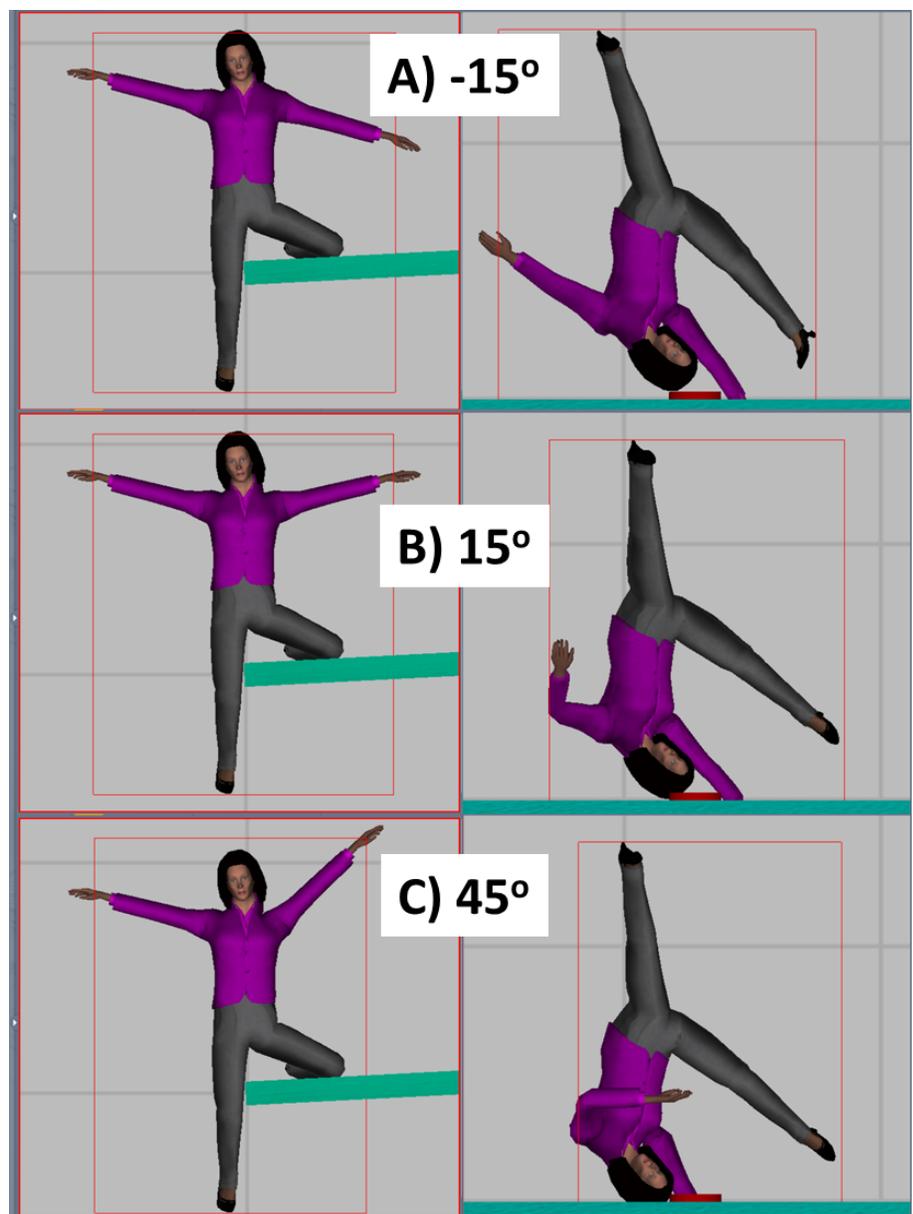
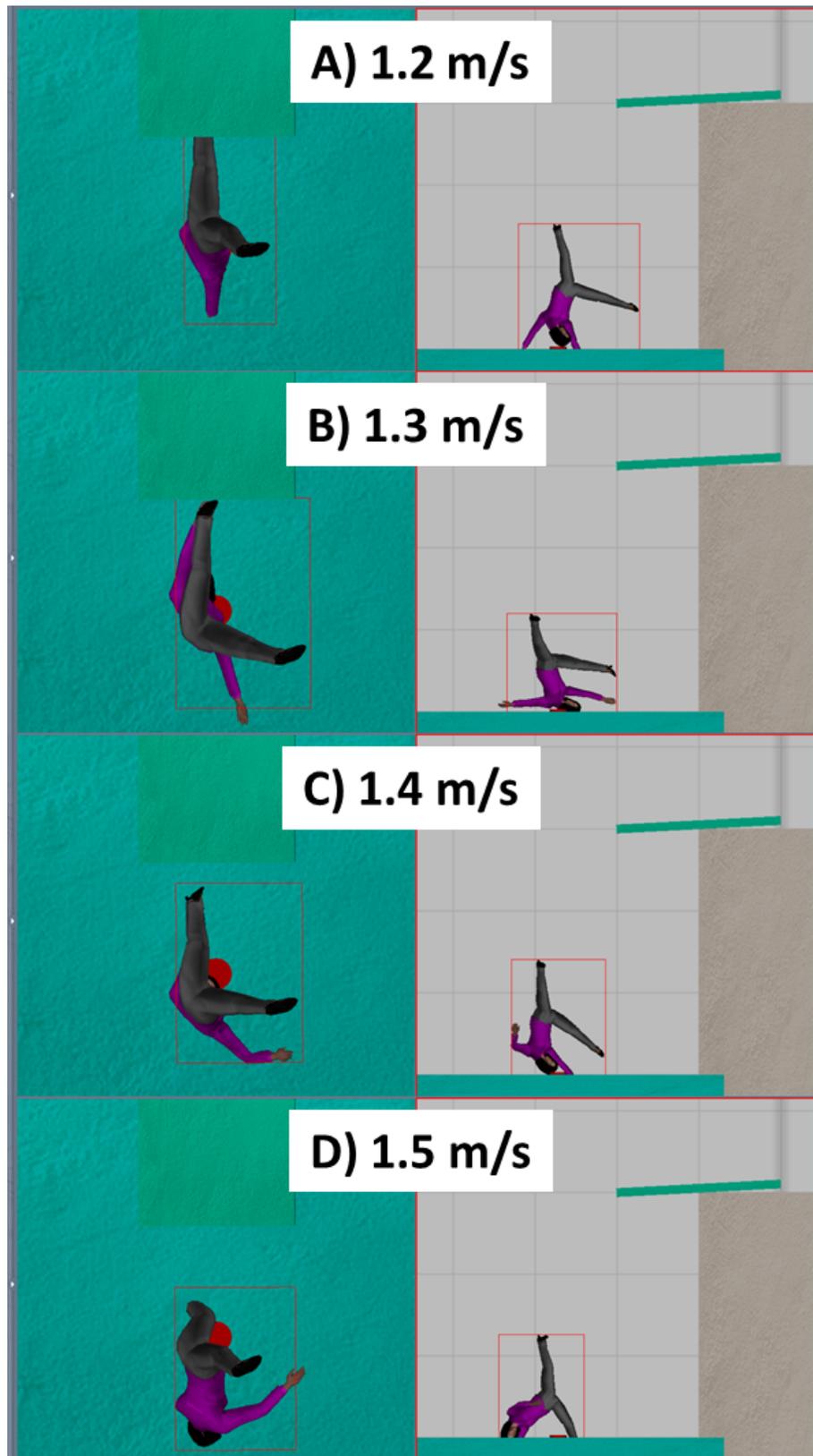


Figura 9. Vistas de la estabilidad de la respuesta (en vista cenital y lateral izquierda) al variar la velocidad de lanzamiento de 1.2 a 1.5 m/s.



Discusión

El video de la precipitación es adecuado como material de análisis, a pesar de carecer de datos de otros puntos de observación, los que permitirían precisar la postura inicial del personaje virtual y por ende mejorar el resultado final en la simulación. Los elementos arquitectónicos necesarios para la simulación son pocos y espacialmente sencillos de observar, lo cual es una ventaja en este tipo de trabajos comparativos. El personaje virtual está compuesto por un mínimo necesario de articulaciones; añadir más uniones móviles no garantiza mejorar la simulación. Por ejemplo, por la baja representación en la masa (de aproximadamente el 0.1%), la incorporación de una articulación entre la falange media y distal del dedo meñique de la mano derecha es una insignificante la ganancia de precisión. Al contrario, añadir más articulaciones incrementa el número de posibles parámetros a considerar, dificultando el trabajo de reconstrucción. Por ello, el modelo articular para el personaje virtual es el adecuado.

Por otro lado, al inicio del movimiento se observa a la clavadista maniobrar para tratar de recuperar la compostura: estira y junta sus extremidades inferiores y superiores, además de mantener erguido el cuello al momento de que su cabeza ingresa al agua. Estas evoluciones son resultado de voluntad y entrenamiento, cualidades que difícilmente se incluyen en el personaje virtual. Más bien, el modelo se comporta como un cuerpo inerte que cae libremente. Se podrían programar restricciones al movimiento articular y activarlas después de cierto tiempo, con la ventaja de ganar más similitud en la postura final. Por ejemplo, inmovilizando las sendas articulaciones del cuello y el codo. Sin embargo, es poco claro que se puedan incorporar tales recursos en una reconstrucción mecánica forense, pues implicaría una conjetura psicológica difícil de justificar objetivamente: el deseo de la intención de la persona por realizar una maniobra en el aire.

El examen de la estabilidad y la respuesta en función de cambios de parámetros es un trabajo indispensable en la reconstrucción. Algunos parámetros son más significativos que otros en el resultado final de la simulación. La figura 8 muestra con claridad que la respuesta, en general, es robusta ante variaciones de un brazo en $\pm 15^\circ$. La posición de la pierna derecha, tronco, cabeza y brazo izquierdo del personaje virtual es congruente con lo observado en el video. En contraste, los pequeños cambios en la velocidad de lanzamiento muestran consecuencias en el alcance que tiene el cuerpo. Esto reafirma que la rapidez inicial es el parámetro de entrada más importante en la reconstrucción (14). La figura 9 muestra el intervalo de valores tolerables, pero el que se debe utilizar es el que presenta mayor coherencia con los otros análisis, como lo es la rapidez mínima de lanzamiento. En lo que concierne al quehacer forense, es insuficiente solo presentar la mejor respuesta para sostener una teoría de caso, se deben revisar variaciones, alcances y otros escenarios.

Finalmente, la simulación del video obtenida es aceptable. Existen suficientes coincidencias cualitativas entre la posición final del video y la simulación para considerar ambas como semejantes. Aunque sin alcanzar el grado de alta precisión. Quedan de manifiesto las discrepancias entre ciertos ángulos de las extremidades en la posición final. La pierna derecha del video se encuentra más en una posición vertical, mientras que la simulación difiere por más de 90°. Ambos brazos de la clavadista se extienden para ingresar a la fosa a un ángulo pequeño, pero en la simulación el brazo izquierdo esta contraído. Por otra parte, las semejanzas numéricas del tiempo y la rapidez en la posición final no superan el 90%. Tales diferencias son insuficientes para convertir en catastrófico el resultado de la simulación, solo establecen un margen de lo que pueden alcanzar este tipo de simulaciones con tales datos. Por lo que las simulaciones forenses (al realizarse con cuidado y esmero) pueden aspirar al grado de plausibilidad.

Conclusiones

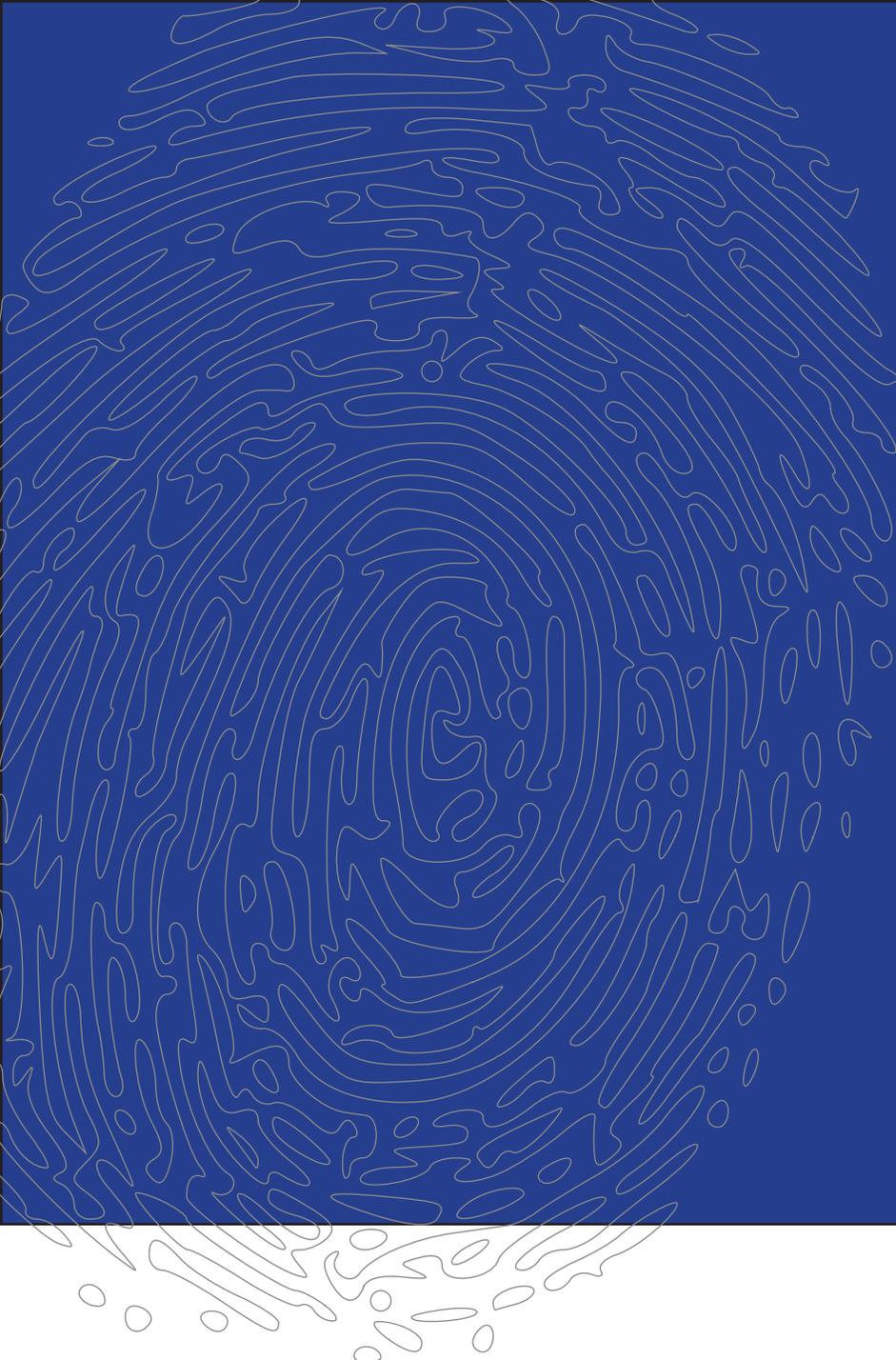
Realizamos el video análisis de una precipitación accidental de 3 m de altura. Con la información obtenida construimos un escenario y un personaje virtual, al que se le definieron parámetros de inicio para simular el movimiento de la persona al caer. Obtuvimos un resultado final coherente entre las imágenes en video y la simulación, pese a la incorporación de pocos elementos y conjeturas. Esto sugiere que este tipo de simulaciones puede ser una herramienta que brinde reconstrucciones mecánicas verosímiles en hechos de precipitación. Además, ratificamos que estas simulaciones permiten observar desde diferentes puntos de vista el movimiento, por lo cual es viable enriquecer la investigación forense y obtener claridad para comprender los hechos. En concreto, pueden convertirse en dictámenes de “reconstrucción de hechos mecánicos”. Sin embargo, es necesario realizar más exámenes de los alcances de estas simulaciones en otro tipo de casos propios de la criminalística de campo.

Agradecimientos

El autor desea agradecer a proyecto: UNAM-PAPIME-PE115519, y carece de conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Baudino F. La Animación Forense en base a la Trayectoria Balística. *Skopein: La justicia en manos de la Ciencia*. 2014;(6): p. 6-10.
2. Batastini AB, Vitacco MJ, Coaker LC, Lester ME. Communicating violence risk during testimony: Do different formats lead to different perceptions among jurors? *Psychology, Public Policy, and Law*. 2019; 25(2): p. 92-106.
3. Schofield D. Graphical evidence: forensic animations and virtual reconstructions. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2009; 41(2): p. 131-145.
4. Raneri D. Enhancing forensic investigation through the use of modern three-dimensional (3D) imaging technologies for crime scene reconstruction. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2018; 50(6): p. 697-707.
5. Zhang Sb, Liu L, Li H, Li Pf. A New Method for 3D Simulation of Traffic Accident Based on VISSIM. *International Conference on Green Intelligent Transportation System and Safety*. 2016;(419): p. 1-12.
6. Becker T, Reade M, and Scurlock B. Simulations of Pedestrian Impact Collisions with Virtual CRASH 3 and Comparisons with IPTM Staged Tests. *arXiv preprint*. 2015;; p. 1512.00790.
7. Gönczi AI, Cipleu A. Cross-Validation of Two Collision Modeling Software Based on the Reconstruction of a Real Collision-A Possible New Approach to Collision Reconstruction. *IAR International Congress of Automotive and Transport Engineering: Science and Management of Automotive and Transportation Engineering*. 2019;; p. 366-374.
8. Scalvenzi M, Parisi F. Progressive collapse capacity of a gravity-load designed RC building partially collapsed during structural retrofitting. *Engineering Failure Analysis*. 2021;(121): p. 105164.
9. Tuchtan L, Gorincour G, Kolopp M, Massiani P, Léonetti G, Piercecchi-Marti M, et al. Combined use of postmortem 3D computed tomography reconstructions and 3D-design software for postmortem ballistic analysis. *Diagnostic and interventional imaging*. 2017; 98(11): p. 809-812.
10. Muggenthaler H, Drobnik S, Hubig M, Schönpflug M, Mall G. Fall from a balcony-accidental or homicidal? Reconstruction by numerical simulation. *Journal of Forensic Sciences*. 2013; 58(4): p. 1061-1064.
11. El-Menyar A, Tilley E, Al-Thani H, Al-Thani H, Latifi R. Females fall more from heights but males survive less among a geriatric population: insights from an American level 1 trauma center. *BMC Geriatr*. 2019; 19(238): p. 9.
12. Fujii M, Shirakawa T, Nakamura M, Baba M, Hitosugi M. Factors influencing the injury severity score and the probability of survival in patients who fell from height. *Scientific Reports*. 2021; 11(1): p. 15561.
13. WHO. Falls. [Online]; 2021 [cited 10 8 2021]. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/falls>.
14. Han I. haracteristic analysis and fuzzy simulation of falls-from-height mechanics, and case studies. *Forensic science international*. 2020;(311): p. 110287.
15. Torres-Zúñiga V. Medición de la rapidez inicial de lanzamiento para inferir un acto suicida en precipitaciones. *Revista de Ciencias Penales Iter Criminis*. 2016;(15): p. 65-83.
16. Ivancic PC. Hybrid cadaveric/surrogate model of thoracolumbar spine injury due to simulated fall from height. *Accident Analysis and Prevention*. 2013;(59): p. 185-191..
17. Yanagida Y, Maeda M, Nushida H, Asano M, Ueno Y. Determining falling patterns by estimation of horizontal distance and height. *Int.J Legal Med*. 2011; 125(1): p. 1-10.
18. Torres-Zúñiga V. Video-análisis por software-libre para obtener la velocidad de un automotor al impactar a un peatón. *Revista De Ciencias Forenses De Honduras*. 2017; 3(1): p. 10-18.
19. Segatto BR. Cuidados na elaboração de laudos periciais envolvendo vítimas fatais de queda de alturas usando o Tracker. *Revista Brasileira de Criminalística*. 2019; 8(1): p. 31-34.
20. Torres-Zúñiga V. Medición de la rapidez inicial de lanzamiento para inferir un acto suicida en precipitaciones. *Revista de Ciencias Penales Iter Criminis*. 2016;(15): p. 65-83.
21. Browning R, Baker E, Herron J, Kram R. Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking. *Journal of Applied Physiology*. 2006; 100(2): p. 390-398.
22. Mohler B, Thompson W, Creem-Regehr S, Pick HJ, Warren WHJ. Visual flow influences gait transition speed and preferred walking speed. *Experimental Brain Research*. 2007; 181(2): p. 221-228.
23. <https://youtu.be/HHm2SpgLlxo>



**ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN
REALIZADOS POR ESTUDIANTES**

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR ESTUDIANTES

Revisión sistemática de la caries rampante como criterio de individualización en cuatro condiciones para el proceso de identificación de personas en México

Carlos Uriel Hernández Figueroa¹✉, N. Sofia Huerta-Pacheco^{1,2}, Ivet Gil-Chavarría¹

¹Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

²Cátedra Conacyt.

✉ carlosfigueroa1@live.com

Datos del artículo:

Cita: Hernández Figueroa C, Huerta-Pacheco S, Gil-Chavarría I. 2022. Revisión sistemática de la caries rampante como criterio de individualización en cuatro condiciones para el proceso de identificación de personas en México. *Revista Digital de Ciencia Forense*. 1(1): 38-58 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sánchez.

Recibido: 29 octubre 2021.

Aceptado: 26 enero 2022.

Publicado: 28 abril 2020.

Resumen

La caries rampante son múltiples lesiones cariosas con avance rápido en dientes anteriores y posteriores. Esta investigación se delimitó al estudio en adultos con: dependencia a metanfetamina (DMET), dependencia a opioides (DOPI), terapia de radiación de cabeza y cuello (TRCC), y el síndrome de Sjögren (SSJO). Mediante una revisión sistemática se distinguen y comparan factores etiológicos, signos dentales y signos físicos presentes en las cuatro condiciones con el objetivo de identificar criterios de individualización útiles que minimicen el universo de búsqueda durante el proceso de identificación de personas. Para ello, se realizó una indagación documental de diferentes fuentes, las cuales fueron recuperadas bajo criterios establecidos y evaluadas de manera descriptiva a través de un análisis textual. Se observó que los factores etiológicos en DMET y DOPI son la deficiencia en hábitos de higiene y el consumo reiterado de alimentos con alto contenido en azúcares; en TRCC y SSJO la hiposalivación permanente. Por otro lado, los signos dentales identificados en DMET y DOPI son raíces dentarias retenidas y placa dental; en la TRCC líneas longitudinales, afecciones en el esmalte y cambios de coloración en la corona dental, y como signos físicos se distinguió que DMET y DOPI existe presencia de lesiones cutáneas por inyecciones e infecciones bacterianas; exclusivamente para la dependencia a opioides se encontró que hay desmineralización ósea; en el SSJO sequedad de piel y ojos, aumento de tamaño de las glándulas salivales y obstrucción del conducto parotídeo. Estos hallazgos brindan elementos individualizantes de utilidad en el proceso de identificación de personas.

Palabras clave: Individualización, identificación humana, identificación odontológica, odontología forense, caries rampante, metanfetamina, opioides, terapia de radiación de cabeza y cuello, síndrome de Sjögren.

Abstract

Rampant caries are multiple rapidly advancing carious lesions in anterior and posterior teeth. This research limited the study to adults with: methamphetamine dependence (METD), opioid dependence (OPID), head and neck radiation therapy (HNRT), and Sjögren's syndrome (SJO). Through a systematic review, etiological factors, dental signs and physical signs present in the four conditions are distinguished and compared with the aim of identifying useful individualization criteria that minimize the search universe during the process of identifying people. For this, a documentary investigation of different sources was carried out, which were recovered under established criteria and evaluated descriptively through textual analysis. It was observed that the etiological factors in METD and OPID were the deficiency in hygiene habits and the repeated consumption of foods with a high sugar content; in HNRT and SJO the main etiological factor were permanent hyposalivation. On the other hand, the dental signs in METD and OPID were impacted dental roots and dental plaque accumulation; in the HNRT the dental sign were longitudinal lines, enamel affections and color changes in the dental crown, and as physical signs it was distinguished that in METD and OPID there is the presence of skin lesions due to injections and bacterial infections; exclusively for opioid dependence it was found that there is bone demineralization; in SJO dry skin and eyes, enlargement of the salivary glands and obstruction of the parotid duct. These findings provide useful individualizing elements in the process of identifying people.

Keywords: Individualization, human identification, dental identification, forensic dentistry, rampant caries, methamphetamine, opioids, head and neck radiation therapy, Sjögren's syndrome.

Introducción

La identificación humana es una tarea multidisciplinaria en la que se compara y reconstruye, se busca ubicar a una persona desconocida de entre un conjunto de individuos (1), el proceso de identificar a una persona, implica comparar toda la información disponible en la investigación forense (2). La odontología forense es la rama de la odontología que se encarga del manejo, evaluación y presentación de la información dental de interés para la justicia (3), esta disciplina puede participar en los casos en los que se deba estudiar a una persona viva, a personas fallecidas, ya sea con tejidos suaves conservados, y también cuando se deban estudiar restos óseos o en un estado avanzado de descomposición (4). Dos grandes ventajas que tiene la odontología forense es que los órganos dentarios son los tejidos que más se preservan aún en condiciones extremas; y que la especificidad y unicidad del fenotipo dental; y que el número de dientes y la combinación de características (ya sean caries, ausencias, tratamientos, patologías o traumatismos dentales) permiten llevar a cabo confrontas ante mortem y post-mortem de manera inequívoca (5). Cabe subrayar que el proceso de identificación humana es una tarea de la cual hay evidencia internacional sobre la necesidad de que sea colaborativa; es decir, aunque la odontología tiene sus propias metodologías, también requiere de otras áreas como: antropología forense, genética, lofoscopia, medicina, toxicología, etcétera. En ese esquema, la perspectiva multidisciplinaria del Científico Forense plantea estudios como el presente, en el que se profundiza en un tema que no es exclusivo de una disciplina sino que se integran aspectos y contextos complementarios que pueden mejorar los retos en materia de identificación desde la odontología forense. De tal modo que esta investigación ocupa una de las características particulares y comunes como la caries dental, que en conjunto (caries rampante) propone ser opción en la construcción del perfil de individualización para confrontas odontológicas.

La caries rampante se caracteriza porque se manifiesta como múltiples lesiones cariosas en un mismo individuo, en dientes y regiones anatómicas que usualmente se encuentran libres de caries (6). En el presente artículo se estudian cuatro condiciones que provocan caries rampante por hiposalivación: I) dependencia a metanfetamina (DMET), II) dependencia a opioides (DOPI), III) terapia de radiación de cabeza y cuello (TRCC), y IV) síndrome de Sjögren (SSJO). A partir de una revisión documental se reconocen y comparan criterios bucodentales y físicos útiles para individualizar a las personas de estas cuatro condiciones en el proceso de identificación humana. La bibliografía sugiere similitudes y coincidencias entre las características y la localización de caries que se presenta en cada una de las cuatro condiciones (7-9). Previo a esta investigación no existía un documento cuyo objetivo fuera comparar a profundidad las diferencias en los órganos dentales afectados en el desarrollo de estas cuatro condiciones. Por tal motivo, esta investigación se planteó como

objetivo reconocer criterios dentales, físicos y etiológicos útiles para diferenciar cada una de estas condiciones, que puedan ser empleados en el contexto forense para realizar una delimitación en el proceso de identificación de personas a partir de los restos.

Las primeras dos condiciones (dependencia a metanfetamina y opioides) hacen referencia a un trastorno en el que se presentan un grupo de síntomas cognitivos, fisiológicos y del comportamiento que indican que una persona presenta un deterioro del control sobre el consumo de una o varias sustancias psicoactivas, por ejemplo, metanfetamina, opioides, cannabis, entre otras (10). La metanfetamina es una sustancia del grupo de las anfetaminas, psicoestimulante y simpaticomimética (11), mientras que los opioides son un grupo de sustancias depresoras del sistema nervioso central que engloba a: los opiáceos, que son derivados sintéticos o semisintéticos del jugo que se encuentra en la cápsula de la amapola (*Papaver somniferum*); y a los opioides sintéticos, que son en su mayoría fármacos con efectos farmacológicos similares a los opioides (12). Ambas sustancias (los opioides y la metanfetamina) han provocado un problema de salud grave en América del Norte; en el 2017 se estimó que la prevalencia del consumo de opioides sintéticos (fármacos) para fines no médicos era del 4% de la población en el rango de edad 15-64 años, es decir un cuarto de la población mundial de consumidores de opioides sintéticos (fármacos), mientras que la prevalencia del consumo de opiáceos (principalmente heroína) en esta región fue de 0.7%, más alta que la prevalencia a nivel mundial (0.6%) (12). Con respecto a la metanfetamina se estima que, en Estados Unidos, la prevalencia anual de consumo del rango de edad 15-64 años en 2017 fue de 2.1%, mientras que para México y Canadá fue del 0.2% (13). En México el consumo de opioides es bajo, mientras que la metanfetamina se reporta como una droga de impacto en los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Durango, Nayarit, Jalisco, Guanajuato y Colima (14). Cabe resaltar que México tiene un papel protagónico en la producción y tráfico de metanfetamina y opioides, siendo el principal proveedor de ambas sustancias al consumidor número uno del mundo, Estados Unidos. En el 2019 se incautaron más de 70 mil toneladas de metanfetamina, y se detectaron más de 30 mil hectáreas de amapola sembrada en México, sin dejar de mencionar que se ha reportado la fabricación de fentanilo, que es un fármaco opioide que está provocando una crisis de salud en América del Norte (12, 13).

Respecto a la terapia de radiación de cabeza y cuello (TRCC) es utilizado en el tratamiento para los tumores malignos que afectan la cavidad oral, la cavidad nasal, los senos paranasales, las glándulas salivales, la faringe y la laringe (15); se estima que a nivel mundial cada año son diagnosticados 55,000 nuevos casos de cáncer en alguna región de la cabeza o el cuello y que entre el 42% al 84% de estos pacientes pasarán por terapia de radiación, dependiendo de la localización del tumor (15). La prevalencia de la caries rampante en las personas que han pasado por terapia de radiación depende del estudio, algunos datos reportados son por encima del 25% (16); de 21% a 24% (17) y 29 % (15).

En México, La Asociación Mexicana de Lucha Contra el Cáncer refirió que en 2002 los pacientes diagnosticados con algún tipo de cáncer de cabeza y cuello eran el 17.6% de la totalidad de los casos de cáncer de ese año (108,064) (18).

La cuarta condición, el síndrome de Sjögren (SSJO), es una enfermedad autoinmune crónica cuya manifestación principal son la sequedad oral y ocular provocadas por la infiltración mononuclear progresiva de las glándulas exocrinas y que puede afectar una variedad de órganos y sistemas (19,20), se considera una enfermedad de etiología desconocida, pero se le asocia la interacción de factores genéticos y factores ambientales como virus, hormonas, vitaminas y estrés (20,21). La prevalencia del síndrome de Sjögren va del 0.01 al 4.8% a nivel mundial (19) y la proporción mujer-hombre es de 9:1, afectando principalmente a mujeres de la cuarta y quinta década (19,21,22).

Conforme a esto se planteó la hipótesis nula de igualdad en la que el patrón de caries rampante y los signos físicos característicos reportados en la bibliografía es el mismo para las condiciones de dependencia a metanfetamina, dependencia a opioides, terapia de radiación de cabeza y/o cuello y síndrome de Sjögren, y se indagó la cuestión de si ¿Existen patrones de caries y signos físicos característicos provocados por la dependencia a las sustancias psicoactivas (metanfetamina y opioides), por la terapia de radiación de cabeza y cuello o por el síndrome de Sjögren, que permitan hacer una individualización y una delimitación de cada una de estas condiciones en el proceso de identificación de personas?.

Metodología

El proceso metodológico aplicado fue una revisión bibliográfica, en la cual se realizó un proceso de búsqueda y selección de artículos consultados a partir de criterios de inclusión.

Revisión sistemática y criterios de inclusión

La búsqueda de información se realizó en la base de datos PubMed. Las cadenas de búsqueda fueron las siguientes: para la dependencia a metanfetamina: (((methamphetamine) OR (meth)) AND (rampant caries)) OR (rampant decay); para la dependencia a opioides: ((opioid) OR (heroin)) AND ((hyposalivation) OR (rampant caries)); para la terapia de radiación de cabeza y cuello (((radiation) OR (head and neck cancer)) AND (rampant caries)) OR (rampant decay); para el síndrome de Sjögren: (sjogren) AND (rampant caries). Se incluyeron las referencias o artículos ya sea en inglés o español que permitieran construir la comparación en conjunto de las afecciones dentales en cada condición y que presentaran información sobre los órganos dentarios afectados por caries rampante, las regiones anatómicas afectadas por caries rampante y los factores etiológicos que favorecen el desarrollo de

Tabla 1. Calidad de la información con base en los tipos de publicaciones consultadas acerca de caries rampante en la dependencia a metanfetamina.

Característica	Estudios	Revisiones	Reportes de caso	Calidad de la información
Caries interproximal anteriores	1 de cohorte 2 transversales	4 revisiones	1 reporte de caso	Alta
Caries lingual	1 de cohorte			Alta
Caries vestibular	1 de cohorte		1 reporte de caso	Alta
Raíces retenidas	1 de cohorte	2 revisiones	1 revisión con reporte de caso 1 reporte de caso	Alta
Placa dental	1 de casos y controles	3 revisiones	2 revisiones de caso	Moderada
Número de restauraciones, caries o ausencias dentales por caries	2 de cohorte 1 transversal			Alta
Marcas de inyecciones		2 revisiones		Moderada
Osteomielitis o artritis séptica		2 revisiones		Moderada
Aspecto de desnutrición	1 transversal	1 revisión	1 reporte de caso 1 revisión con reporte de caso	Moderada

esta enfermedad. En total se obtuvieron 17 artículos acerca de dependencia a metanfetamina, 21 para la dependencia a opioides, 14 acerca de la terapia de radiación de cabeza y cuello y 13 sobre el síndrome de Sjögren.

Se categorizó la información consultada con base en la pirámide de la jerarquía de la información mencionada en Yetley et al., 2017 (23) (ver Figura 1). La pirámide señala el nivel de la calidad de la información del tipo de publicación. A partir de esta pirámide se hicieron tres categorías de calidad de la información:



Figura 1. Pirámide de jerarquía de la información tomada de Yetley et al., 2017.

Tabla 2. Calidad de la información con base en los tipos de publicaciones consultadas acerca de caries rampante en la dependencia a opioides.

Característica	Estudios	Revisiones	Reportes de caso	Calidad de la información
Caries cervicales	1 transversal	4 revisiones	2 reportes de caso 1 reporte de caso y revisión bibliográfica	Moderada
Caries interproximal anteriores			1 reporte de caso	Moderada
Caries lingual	1 transversal			Moderada
Caries vestibular		1 revisión		Moderada
Raíces retenidas	4 transversales		1 reporte de caso	Moderada
Placa dental	3 transversales	3 revisiones	2 reporte de caso 1 reporte de caso y revisión	Moderada
Número de restauraciones dentales < caries o ausencias dentales por caries	3 transversales			Moderada
Marcas de inyecciones		2 revisiones	1 revisión con reporte de caso	Moderada
Osteomielitis o artritis séptica		2 revisiones 1 metaanálisis		Alta
Desmineralización ósea	2 transversales	1 metaanálisis		Alta
Aspecto de desnutrición		2 revisiones	2 revisión y reporte de caso	Moderada

- 1) Alta: corresponde a revisiones sistemáticas, metaanálisis, ensayos controlados aleatorizados y estudios de cohorte.
- 2) Moderada: incluye a casos control, estudios transversales, revisiones, reporte de caso y estudios de caso.
- 3) Mala: corresponde a editoriales, estudios mecanicistas, y opiniones de expertos.

De modo que para cada característica de la caries rampante y signo físico mencionado en cada condición se colocó el tipo de publicaciones que lo menciona y la calidad de información que le corresponde. Por ejemplo; el signo físico de la presencia de líneas longitudinales en el esmalte de los dientes de las personas que han pasado por terapia de radiación es mencionada en dos estudios transversales y dos revisiones, por lo tanto, la calidad y el nivel de confianza de esa información es moderada (Ver tablas 1-4).

Tabla 3. Calidad de la información con base en los tipos de publicaciones consultadas acerca de caries rampante en la terapia de radiación de cabeza y cuello

Característica	Estudios	Revisiones	Reporte de caso	Calidad de la información
Caries cervical anteriores	1 transversal	4 revisiones		Moderada
Caries lingual	1 transversal	4 revisiones		Moderada
Caries vestibular	1 transversal	4 revisiones		Moderada
Caries incisal	1 transversal	4 revisiones		Moderada
Coloración oscura de corona dentaria	1 transversal	2 revisiones		Moderada
Translucidez en el esmalte	1 transversal	2 revisiones		Moderada
Porosidad y delaminación del esmalte	1 transversal	2 revisiones		Moderada
Líneas longitudinales color oscuro en la región vestibular de la corona	2 transversales	2 revisiones		Moderada

Tabla 4. Calidad de la información con base en los tipos de publicaciones consultadas acerca de caries rampante en el síndrome de Sjögren.

Característica	Estudios	Revisiones	Reporte de caso	Calidad de la información
Caries cervical	1 de casos y controles	4 revisiones	1 revisión y reporte de caso	Moderada
Caries lingual		2 revisiones		Moderada
Caries vestibular		6 revisiones		Moderada
Caries incisal	1 transversal	4 revisiones	1 caso	Moderada
Aumento de tamaño de la glándula salival	1 de casos y controles	6 revisiones	1 caso	Moderada
Obstrucción del conducto parotídeo		3 revisiones		Moderada
Sequedad de la piel, vulva y ojos.	1 transversal	10 revisiones	1 revisión con reporte de caso	Moderada
Caries adyacentes a restauraciones dentales		5 revisiones	1 revisión con reporte de caso	Moderada

Como puede observarse, la mayor parte de la información tiene una calidad moderada, y en algunos casos alta como en el caso de la dependencia a metanfetamina; por el contrario, en la dependencia a opioides aunque existe información de alta calidad, en su mayoría es de calidad moderada igual que en la terapia de radiación de cabeza y cuello y en el síndrome de Sjögren. Esto puede explicarse porque no se encontraron revisiones sistemáticas, metaanálisis, ensayos controlados aleatorizados o estudios de cohorte en los que se evalúen el patrón de caries rampante o los signos físicos de las cuatro condiciones. Los estudios consultados, en su mayoría son transversales o de casos y controles.

Análisis textual y formación de nubes de palabras en R Project

De forma complementaria a la recuperación y revisión bibliográfica, se realizó un análisis descriptivo textual en programa *R project* (24) de las palabras más frecuentes de cada condición por artículo, obteniendo así las frecuencias de los bigramas (dos palabras) más representativos, lo cuales se presentan por medio de nubes de palabras. Para esto, se emplearon los paquetes “*tm*” (25,26), “*RWeka*” (27) y “*wordcloud*” (28).

Resultados

Factores etiológicos

Hiposalivación. En la DMET y en la DOPI la hiposalivación es causada como un efecto secundario y reversible del consumo de estas sustancias psicoactivas (7,8, 29-42) o por el uso concomitante de medicamentos antidepresivos o antipsicóticos (7, 19, 39, 43). Por otro lado, en la TRCC, y en el SSJO la hiposalivación es permanente y puede ser irreversible; en el primer caso es causada por la radiación que afecta a las glándulas salivales (17, 44, 45), mientras que en el SSJO la hiposalivación es causada por las afecciones autoinmunes de la enfermedad que causan daño a las glándulas salivales (19, 22, 46).

Higiene. En la DMET y en la DOPI la higiene personal y oral es descuidada por la falta de motivación o interés en mantener medidas de higiene (7, 9, 31, 34-36, 40, 47-45). En la TRCC no se reportan hábitos de higiene deficientes, no obstante, se les recomienda seguir un régimen estricto de higiene que, incluso si se sigue completamente, parece no evitar por completo el desarrollo de caries rampante (16, 17, 51). En el SSJO, las personas mantienen hábitos de higiene oral eficientes y acuden frecuentemente al profesional de la salud oral (20, 46, 52, 53).

Dieta. En la DMET y en la DOPI, se presenta la necesidad de consumir sustancias dulces (7, 8, 29, 30, 34, 36, 39, 47, 54). En la DMET encontró también que los usuarios suelen consumir altas cantidades de bebidas azucaradas para mitigar la sensación de sequedad bucal (8, 29, 30, 47). En el caso de la DOPI, se reporta el

consumo de alimentos de tipo “bocadillo” (7, 34, 37-41, 50, 55). En la TRCC se reporta que a los pacientes se les recomienda consumir bebidas azucaradas para mantener el peso durante el tratamiento del cáncer (16, 17); no obstante, no se asocia una dieta particularmente alta en azúcares, incluso el azúcar presente en frutas podría favorecer la caries en esta condición (56). Finalmente, en el SSJO, la bibliografía no indica algún tipo de dieta con alto contenido de azúcar. En la Tabla 5 se presenta la comparación de factores etiológicos en las cuatro condiciones.

Tabla 5. Comparación de los factores principales involucrados en el desarrollo de caries rampante en las cuatro condiciones.

Condición	Hiposalivación	Dieta	Higiene
Dependencia a opioides	Es un efecto secundario de la sustancia psicoactiva.	Consumo de alimentos con alto contenido de azúcar. El consumo de opioides provoca la necesidad de consumir azúcar.	Deficiencias en la higiene personal y oral por falta de motivación o recursos económicos. La calidad de hábitos de higiene personal y oral empeoran bajo los efectos de la sustancia.
Dependencia a metanfetamina		Consumo de bebidas con alto contenido de azúcar para mitigar la sequedad bucal.	
Terapia de radiación de cabeza y cuello	Provocado por el daño a las glándulas salivales por la radiación, puede ser irreversible.	Consumo de fórmulas azucaradas para mantener su peso durante el tratamiento. No obstante, no se les asocia una dieta elevada en azúcares.	Se requiere un régimen intenso de cuidado de la salud oral que no evita por completo el desarrollo de caries.
Síndrome de Sjögren	Provocado por daño inmunitario a las glándulas salivales, es irreversible.	No se les asocia una dieta cariogénica.	Suelen mantener buena higiene y acudir frecuentemente al odontólogo.

Criterios dentales

En las cuatro condiciones se reportaron caries en la región cervical, lingual/palatina, vestibular e interproximales (7-9, 16, 20, 22, 29, 30, 31-34, 39, 40, 46, 49, 51, 52, 57- 69). Para el SSJO y la TRCC se refiere adicionalmente caries en la región incisal, oclusal y cúspides (16, 20, 22, 51, 52, 61-68). Para ambas, DMET y DOPI, se reporta la presencia de múltiples ausencias dentales, raíces dentarias retenidas y placa dental acumulada (8, 9, 29-31, 33-40, 49, 50, 54, 55, 57-59, 70). En el caso de la TRCC los signos dentales son: porosidad y delaminación del esmalte, líneas longitudinales en la región vestibular de la corona, y coloración oscura de la corona dentaria (51, 61-64, 71-73).

Crterios físicos

En la DMET y en la DOPI, cuando el consumo es por vía intravenosa, se puede presentar lesiones cutáneas por inyecciones (8, 30, 35, 49, 59), osteomielitis o artritis séptica (74, 75). Exclusivamente en la DOPI se puede presentar desmineralización de huesos (76, 77). En el caso del SSJO los signos físicos característicos son el aumento de tamaño de la glándula salival, obstrucción del conducto parotídeo, sequedad de piel, ojos y vulva (19, 20, 78, 79). En Tabla 6 se presenta de forma sintetizada los criterios dentales y físicos en cada condición, y el odontogramas que representan a cada una de las condiciones evaluadas.

Tabla 6. Comparación de los factores principales involucrados en el desarrollo de caries rampante en las cuatro condiciones.

Condición		DOPI	DMET	TRCC	SSJO
Criterios dentales	1. Caries en región cervical	Sí	Sí	Sí	Sí
	2. Caries en región lingual/palatina y vestibular	Sí	Sí	Sí	Sí
	3. Caries en regiones interproximales	Sí	Sí	No	Sí
	4. Caries en regiones incisal, oclusal y cúspides	No	No	Sí	Sí
	5. Raíces dentarias retenidas	Sí	Sí	No	No
	6. Placa dental retenida	Sí	Sí	No	No
	7. Translucidez en el esmalte	No	No	Sí	No
	8. Porosidad y delaminación del esmalte	No	No	Sí	No
	9. Líneas longitudinales en región vestibular de la corona	No	No	Sí	No
	10. Coloración oscura de la corona dentaria	No	No	Sí	No
Criterios físicos	11. Lesiones cutáneas por inyecciones	Sí	Sí	No	No
	12. Desmineralización de huesos	Sí	No	No	No
	13. Osteomielitis o artritis séptica	Sí	Sí	No	No
	14. Aumento de tamaño de la glándula salival	No	No	No	Sí
	15. Obstrucción del conducto parotídeo	No	No	No	Sí
	16. Sequedad en la piel, ojos y vulva	No	No	No	Sí

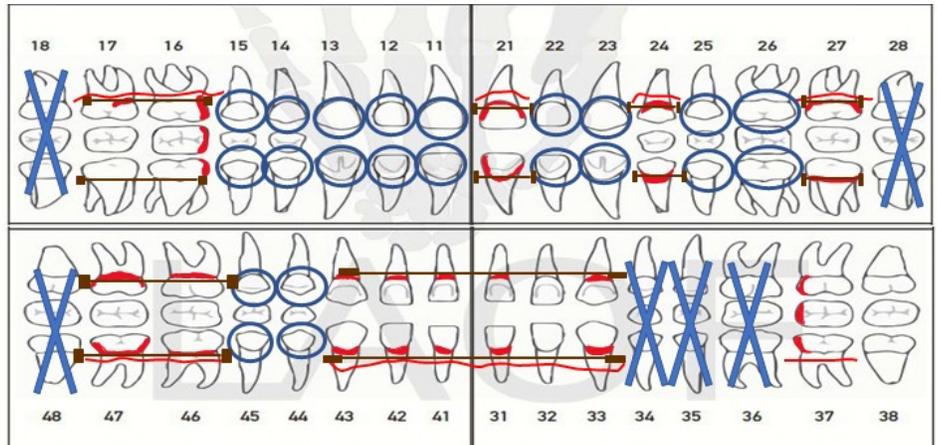


Figura 2. Odontograma representativo de DMET. Se observa caries rampante localizada en dientes superiores e inferiores, en regiones cervical e interproximal, ausencias dentales, restos radiculares retenidos y placa dental.

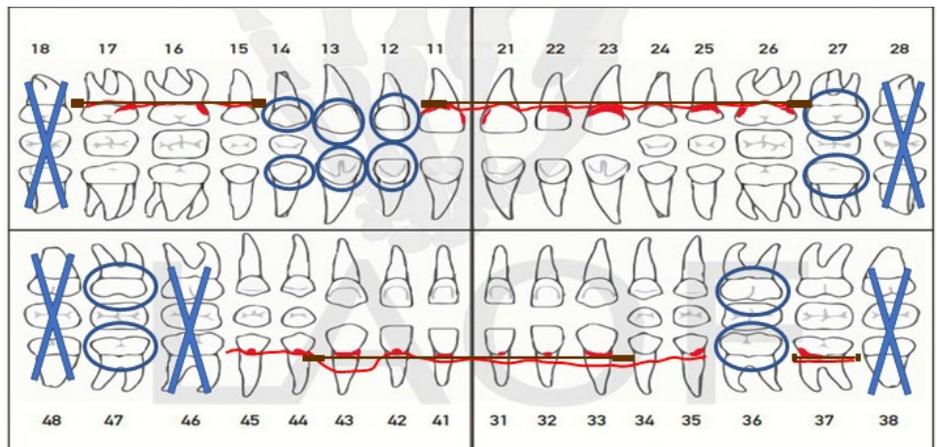


Figura 3. Odontograma representativo de DOPI. Se observa caries rampante localizada en dientes superiores e inferiores, en regiones cervical e interproximal, ausencias dentales, restos radiculares retenidos y placa dental.

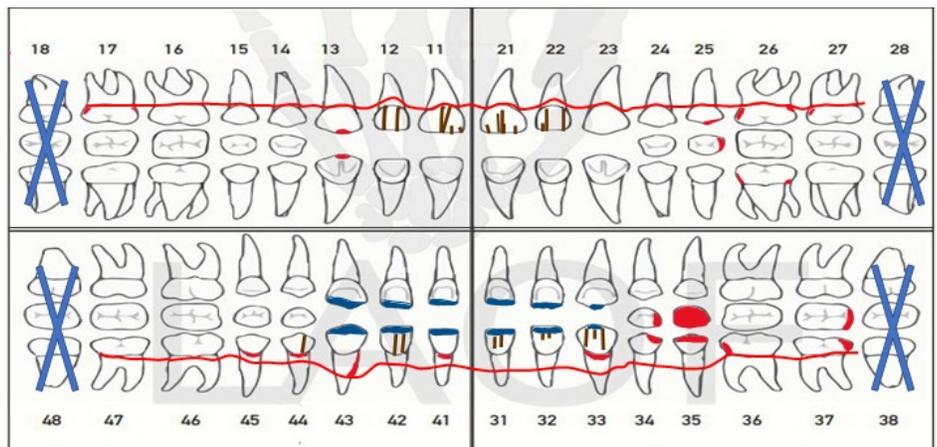


Figura 4. Odontograma representativo de TRCC. Se observa caries rampante en dientes superiores e inferiores en región cervical, oclusal e incisal, fracturas (líneas longitudinales) en el esmalte y desgaste en incisal de dientes inferiores. Se destaca la ausencia de placa dental.

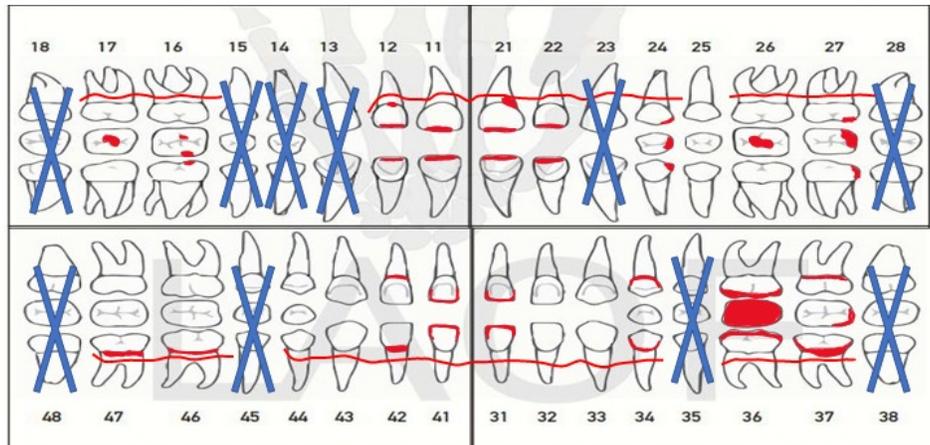


Figura 5. Odontograma representativo de SSJO. Se observa caries rampante en dientes superiores e inferiores (anteriores y posteriores) en región cervical, incisal y oclusal, y ausencias dentales. Se destaca la ausencia de placa dental retenida.

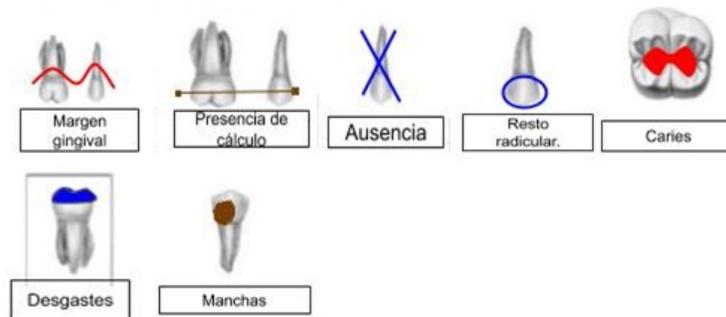


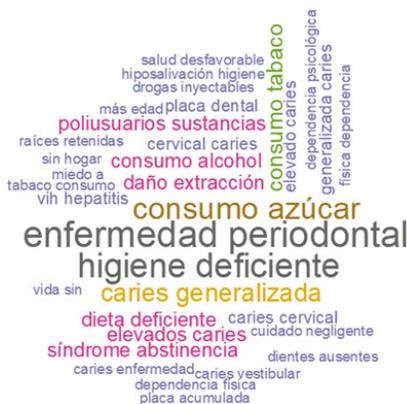
Figura 6. Simbología de los odontogramas presentados en las figuras 2-5.

Análisis textual y formación de nubes de palabras en R Project

Finalmente, y como parte complementaria a esta comparación, se presenta los resultados obtenidos por medio de un análisis textual descriptivo de cada condición, donde se observa que los bigramas más representativos son: 1) DOPI: enfermedad periodontal, higiene deficiente, consumo azúcar, caries generalizada, consumo tabaco, consumo alcohol, daño extracción, dieta deficiente y síndrome abstinencia en personas con dependencia a opioides, 2) DMET: higiene deficiente, bebidas azucaradas, caries rampante, meth mouth, caries interproximal y enfermedad periodontal en la dependencia de metanfetamina, 3) TRCC: la dosis radiación, daño glándulas salivales, caries rampante, caries cervical, caries radiación, cambios coloración y cambios saliva para la terapia de radiación de cabeza y cuello, y 4) SSJO: daño glándulas salivales, caries cervical, caries incisal, sequedad ocular, visitas al odontólogo e higiene eficiente para el síndrome de Sjögren. A continuación se muestran las nubes de palabras representativas que estuvieron en los textos de esta revisión documental

Figura 7. Nubes de palabras representativas en DOPI [1], DMET [2], TRCC [3], SSJO [4] producidas con *R Project*.

1) Dependencia a opioides



2) Dependencia a metanfetamina



3) Terapia de radiación



4) Síndrome de Sjögren



Discusión

Previo a este trabajo, se habían publicado diversos estudios y revisiones sistemáticas de odontología clínica, casi exclusivamente en inglés, en donde se abordan aspectos de epidemiología, factores etiológicos, regiones anatómicas afectadas por la caries rampante y tratamiento, de cada una de estas condiciones por separado, sobre todo de la dependencia a metanfetamina y de la dependencia a opioides. Sobresalen los trabajos de Brondani y Park (7) quienes señalan una similitud entre las condiciones bucodentales causadas por la terapia de radiación de cabeza y cuello con las personas con dependencia a opioides, además sugieren que la diferencia entre las condiciones bucodentales de personas con dependencia a opioides y las personas con dependencia a metanfetamina es que esta última condición presenta daños más graves. Esto último contrasta con los hallazgos de esta revisión sistemática, dado que al comparar los estudios

consultados se puede observar que el número de dientes cariados, ausentes y restaurados es prácticamente igual (7, 9, 29, 30, 34, 35, 36, 40 - 42, 49, 57, 58, 60, 69). Aunado a que la gravedad de los signos bucodentales, está relacionada con un mayor tiempo de consumo y no con la sustancia psicoactiva consumida (9, 33). Es importante mencionar también el trabajo de Hamamoto & Rhodus (8) en donde se reporta que el desarrollo de caries en la TRCC suele ser más rápido en comparación con la DMET dado que en esta última condición, la hiposalivación puede pasar por un periodo de arresto, aunado a que pueden practicarse medidas de higiene dental que eviten o hagan más lento el desarrollo de caries. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo, toda vez que los estudios consultados indican que las lesiones dentales en la TRCC pueden aparecer inmediatamente después del inicio del tratamiento o 3 meses después (51, 61, 73), y que incluso siguiendo un riguroso régimen de higiene, no garantiza que se evite el desarrollo de caries (51). Aunado a que en esta condición la hiposalivación suele ser permanente (17, 44, 45), factor que propicia las condiciones para el desarrollo de caries (6); mientras que en la dependencia a metanfetamina, se reporta que el cepillado dental, era un factor relacionado con un menor número de dientes cariados (47) y que la hiposalivación se presenta como efecto directo del consumo de la sustancia psicoactiva (7, 8, 29-39, 41). Así mismo, debe mencionarse el trabajo de Smit & Naidoo (9) quienes mencionan que el patrón de caries dental en personas con dependencia a metanfetamina es similar al de las personas con Síndrome de Sjögren; sin embargo, en los resultados de este trabajo se presentan criterios dentales y físicos que permiten diferenciar a estas dos condiciones. Por último debe mencionarse el trabajo de tesis de licenciatura de la Facultad de Odontología de la UNAM de Sánchez, 2011 (80), quien realizó una revisión bibliográfica únicamente de la caries rampante en el consumo de metanfetamina. La presente revisión sistemática es la primera en distinguir y comparar los factores etiológicos, los órganos dentales y las regiones anatómicas afectadas por caries rampante y los signos físicos característicos para cada una de las cuatro condiciones con el objetivo de proponer criterios dentales y físicos para diferenciar a cada una de estas condiciones en el proceso de identificación de personas.

El reconocimiento diferencial entre estas cuatro condiciones, sugiere coadyuvar en la delimitación de búsqueda o identificación de personas mediante la información disponible. El principio se fundamenta en comparaciones o confrontas de datos antemortem como lo refieren las autoras Soraya y Ortega, 2018 (81) e información generada como “historia de vida” (82, 83). En este contexto, la utilidad de los criterios propuestos adquiere especial importancia en el proceso de reunir información en donde se debe realizar estudio minucioso de los restos o de la persona para encontrar características cada vez más específicas que faciliten el proceso de identificación agrupando a los restos o a la persona en un grupo poblacional más específico (82-84). La caries rampante es un criterio de individualización por sí misma, pero de mayor relevancia al asociarlos a los criterios descritos. Esta revisión permitiría a los investigadores forenses

incluir o excluir estos criterios en sus análisis para identificación de personas vivas o fallecidas correlacionando caracteres presentes en un grupo específico: dependencia a metanfetamina, dependencia a opioides, terapia de radiación de cabeza y cuello, o el síndrome de Sjögren. Para esto, los expertos forenses deberán identificar los signos dentales y físicos que estén presentes, primero por separado cada uno en su área, y luego en conjunto al momento de integrar los informes de cada especialidad, tal y como lo recomienda la “Guía práctica para la recuperación y análisis de restos humanos en contextos de violaciones a los derechos humanos e infracciones contra el derecho internacional humanitario” (83). De esta forma, en el caso de que se presente caries rampante sería favorable en la práctica forense, participar de manera conjunta con acciones que coadyuven en el proceso, como:

- Evaluar minuciosamente la cavidad oral y entregar un reporte en donde se establezca la presencia o ausencia de los órganos dentales, definir las regiones anatómicas afectadas por caries rampante, el estado de higiene dental, la presencia o ausencia de restauraciones o raíces dentales retenidas, la presencia o ausencia de otro tipo de lesiones como la delaminación del esmalte o el cambio de coloración de la corona dentaria, la obstrucción del conducto parotídeo y el aumento de tamaño de la glándula salival. Sin dejar de mencionar la aplicación de técnicas de imagen que permitan una comparación de la información.
- Reportar la causa de muerte, así como la presencia o ausencia de diversos signos como: lesiones cutáneas por inyecciones, osteomielitis, aumento de tamaño de la glándula salival (cuando sea visible en la parte exterior de la cavidad oral), sequedad en la piel, ojos y vulva; o cualquier otro signo corporal como un posible daño orgánico por el consumo reiterado de metanfetamina y opioides. Sin dejar de mencionar la aplicación de técnicas de imagen que permitan una comparación de la información.
- Reportar la presencia o ausencia de desmineralización ósea, artritis séptica y osteomielitis.
- Recolectar, cuando se encuentren presentes en el lugar de hallazgo, indicios como pipas, jeringas y otros artefactos relacionados con el consumo de metanfetamina y opioides.
- Analizar las matrices biológicas disponibles para confirmar o negar la presencia de metabolitos de sustancias psicoactivas.

Por lo anterior, la aplicación de estos criterios dentales y físicos propuestos requiere un análisis desde la perspectiva multidisciplinaria (como la que tiene el científico forense) en donde los criterios sean reportados por cada área y que las conclusiones de estos reportes se integren para desarrollar la hipótesis más adecuada: dependencia a metanfetamina, dependencia a opioides, dependencia a metanfetamina y opioides, terapia de radiación, síndrome de

Sjögren o ninguna. Por lo tanto, los criterios físicos y dentales propuestos son un gran aporte para la ciencia forense que puede integrar los resultados de las especialidades antes mencionadas.

La confronta de estos datos con la información de historia de vida, incluido el expediente odontológico, aportaría mayor certeza en la identificación. Por esta razón, es necesaria la recuperación de la mayor cantidad de información de historia de vida por medio de fuentes documentales como denuncias, expedientes médicos y odontológicos, reportes de necropsia, registros de huellas dactilares, registros de cementerios, expedientes judiciales, y fuentes orales como entrevista con familiares, amigos, vecinos, o personas relacionadas con los hechos (82). Con respecto a los expedientes odontológicos es preciso mencionar lo que se establece en la Norma Oficial Mexicana 004-SSA que a su vez es referida en la NOM-0013-SSA-2015 para la prevención, detección, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades bucales, en donde especifica la información mínima que se debe obtener y registrar para conformar el expediente odontológico. A partir de esa información la que es más pertinente y relacionada para este trabajo es: el padecimiento actual, antecedentes personales patológicos, investigar el uso y dependencia al tabaco, alcohol y a otras sustancias, la exploración física dirigida a la cavidad bucal, cabeza y cuello y el odontograma inicial y de seguimiento; así como el periodontograma inicial y de seguimiento (85, 86). No obstante cabe subrayar que debe evaluarse toda la información disponible y registros dentales que conformen el expediente odontológico, ya que significa una excelente fuente de información ante mortem para confronta en los procesos de identificación de personas. En este sentido, sobresale el papel que tiene el odontólogo clínico puesto que él es el responsable de obtener, registrar y resguardar el expediente clínico odontológico, que difícilmente podría obtenerse a través de una entrevista con familiares, además que es responsable también de dar a conocer a sus pacientes acerca la importancia no solo del tratamiento clínico, sino de las características dentales y demás elementos o registros que conforma el expediente clínico (87).

Con respecto a la entrevista a familiares, el Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas del 2020, menciona que las autoridades deberán recabar datos, entre estos están “condiciones médicas” y “consumo de sustancias (narcóticos, psicotrópicos, etc.)” (85), estos datos serían de suma importancia para la aplicación de los criterios físicos y dentales obtenidos en el presente trabajo. Además de estos datos recabados a través de entrevistas a familiares y amigos, es preciso obtener más información de la historia de vida que fortalecería la utilidad de los criterios propuestos, como:

- Registros dentales como odontogramas, radiografías intraorales o referencias de la condición oral de la persona que se busca aportadas por familiares y amigos.
- Registros de clínicas de ayuda a la dependencia a sustancias, o referencias

de esta condición aportadas por familiares y amigos.

- Registros médicos de clínicas u hospitales en donde se mencione que la persona padecía síndrome de Sjögren o había recibido terapia de radiación de cabeza y cuello, o referencias de estas condiciones aportadas por familiares y amigos.

Por otra parte y en referencia a las nubes de palabras construidas con el programa *R Project* (24), son una representación de los bigramas que más frecuentemente se emplean para describir a cada condición, de modo que se observa que aparecen factores etiológicos (p. ej. higiene deficiente), signos dentales (p. ej. caries interproximal), signos físicos (p. ej. sequedad ocular). En este sentido, las nubes de palabras pueden entenderse como un gráfico secundario que aporta información complementaria de los factores etiológicos, los signos físicos y los signos dentales reportados en el presente trabajo, sin embargo, por sí solos no permiten comprender por completo a cada una de las condiciones evaluadas.

No puede dejar de mencionarse que, aunque existen otras condiciones que provocan hiposalivación y, en consecuencia, caries rampante como el consumo de algunos fármacos (86), o la enfermedad de injerto contra huésped (87); este estudio es un precedente para construir perfiles de individualización. En esta revisión se presenta información que delimita al reconocimiento de la caries rampante en solo cuatro condiciones, con el objetivo de aportar conocimiento a la ciencia forense que permite interpretar y diferenciar la caries rampante de forma inicial. Aunado a que en la información revisada, las condiciones aquí evaluadas son las más reportadas. Sería muy conveniente realizar más estudios acerca de la caries rampante en y de los factores que la propician porque permitiría comprender mejor la asociación de los factores principales estudiados en este trabajo (hiposalivación, higiene y dieta) y otros factores como la educación, la conducta, el ingreso y el estatus socioeconómico que son importantes en el desarrollo de caries dental (6).

Conclusión

A. Se rechaza la hipótesis nula de igualdad propuesta dado que el patrón de caries rampante y los signos físicos reportados en la bibliografía de las cuatro condiciones estudiadas, son diferentes y pueden utilizarse como criterios de individualización para hacer una delimitación de cada una de las condiciones en el proceso de identificación de personas.

B. Los signos físicos y dentales propuestos pueden delimitar el universo de búsqueda en procesos de identificación, por lo tanto, son elementos de individualización. Estos signos físicos y dentales se tratan de una aportación de suma importancia para la ciencia forense.

C. La utilidad de los criterios dentales y físicos propuestos se verá fortalecida cuando el proceso de identificación de personas se realice con un acercamiento multidisciplinario; en el que participen, entre otras disciplinas, la odontología forense, medicina forense, antropología forense, química forense y criminalística o arqueología forense.

D. Son necesarios estudios en los que se evalúen las condiciones orales en las cuatro condiciones estudiadas en el presente trabajo en México para determinar la presencia de los signos físicos y dentales en estas poblaciones en México y conocer su contexto de vida.

Bibliografía

1. José R. La Antropología Forense en la identificación humana. 1era edición. Colombia; Universidad Nacional de Colombia; 2004.
2. Fondebrider L. Guía forense para la investigación, recuperación y análisis de restos óseos. Primera edición. Equipo argentino de antropología forense; 2020.
3. Thorakkal S. Forensic Odontology. JPCPCP. 2012; 22(4): 240-245
4. Jeddy N, Ravi S, Radhika T. Current trends in forensic odontology. J Forensic Dent Sci . 2017;9(3):115-9. Disponible en: http://dx.doi.org/10.4103/jfo.jfds_85_16
5. Vazquez A. Testigos dentales: los materiales de la odontología forense . INVDES. 2019.
6. Garg N, Garg A. Textbook of Operative Dentistry Second Edition. Varanasi, Uttar Pradesh, India: Jaypee Brothers Medical Publishers; 2013. ANTES 1
7. Brondani M, Park PE. Methadone and oral health--a brief review. J Dent Hyg. 2011 Spring;85(2):92-8
8. Hamamoto DT, Rhodus NL. Methamphetamine abuse and dentistry. Oral Dis. 2009;15(1):27-37. DOI: 10.1111/j.1601-0825.2008.01459.
9. Smit DA, Naidoo S. Oral health effects, brushing habits and management of methamphetamine users for the general dental practitioner. Br Dent J. 2015;218(9):531-. DOI: 10.1038/sj.bdj.2015.341
10. Lizarbe Alonso V. Glosario de términos de alcohol y drogas: la importancia de utilizar una terminología común. Trastor Adict. 2009;11(3):149-50.
11. Wishart DS, Knox C, Guo AC, Shrivastava S, Hassanali M, Stothard P, Chang Z, Woolsey J. Drugbank: a comprehensive resource for in silico drug discovery and exploration. Nucleic Acids Res. 2006.
12. United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). Word Drug Report - 2019 Depressants. Vienna: United Nations; June 2019
13. United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). Word Drug Report - 2019 Stimulants. Vienna: United Nations; June 2019.
14. Sistema de Vigilancia Epidemiológica para las Adicciones. Informe SISVEA. 2016 . Secretaria de Salud; 2016.
15. Moore C, McLister C, Cardwell C, O'Neill C, Donnelly M, McKenna G. Dental caries following radiotherapy for head and neck cancer: A systematic review. Oral Oncol. 2020;100(104484):104484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2019.104484>
16. Sroussi HY, Epstein JB, Bensadoun R-J, Saunders DP, Lalla RV, Migliorati CA, et al. Common oral complications of head and neck cancer radiation therapy: mucositis, infections, saliva change, fibrosis, sensory dysfunctions, dental caries, periodontal disease, and osteoradionecrosis. Cancer Med. 2017;6(12):2918-31. DOI: <https://doi.org/10.1002/cam4.1221>
17. Deng J, Jackson L, Epstein JB, Migliorati CA, Murphy BA. Dental demineralization and caries in patients with head and neck cancer. Oral Oncol. 2015;51(9):824-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2015.06.009>
18. Cáncer de cabeza y cuello - Asociación Mexicana de Lucha Contra el Cáncer. Amlcc.org. 2020
19. Riega-Torres, J. C. L., Villarreal-Gonzalez, A. J., Ceceñas-Falcon, L. Á., & Salas-Alanis, J. C. Síndrome de Sjögren (SS), revisión del tema y saliva como método diagnóstico. Gac Med Mex 2016;152(3).
20. López-Pintor RM, Fernández Castro M, Hernández G. Oral involvement in patients with primary Sjögren's syndrome. Multidisciplinary care by dentists and rheumatologists. Reumatol Clin. 2015;11(6):387-94. DOI: 10.1016/j.reuma.2015.03.010
21. Bowman SJ. Primary Sjögren's syndrome. Lupus. 2018;27(1_suppl):32-5. DOI: <https://doi.org/10.1177/0961203318801673>
22. Mathews SA, Kurien BT, Scofield RH. Oral manifestations of Sjögren's syndrome. J Dent Res. 2008;87(4):308-18. DOI: <https://doi.org/10.1177/154405910808700411>
23. Yetley EA, MacFarlane AJ, Greene-Finestone LS, Garza C, Ard JD, Atkinson SA, et al. Options for basing Dietary Reference Intakes (DRIs) on chronic disease endpoints: report from a joint US-/Canadian-sponsored working group. Am J Clin Nutr. 2017;105(1):249S-285S. DOI: <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.139097>
24. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. 2020. Vienna; Austria.
25. Feinerer I, Hornik K. tm: Text Mining Package. R package version 0.7-7. 2019.

26. Feinerer I, Hornik K, Meyer D. Text Mining Infrastructure. *J Am Stat Assoc.* 2008; 25(5): 1-54.
27. Hornik K, Buchta C, Zeileis A. Open-Source Machine Learning: R Meets Weka. *Comput Stat.* 2009; 24(2), 225-232. Disponible en: doi: 10.1007/s00180-008-0119-7.
28. Fellows I. wordcloud: Word Clouds. R package version 2.6. 2018.
29. Shaner JW, Kimmes N, Saini T, Edwards P. "Meth mouth": rampant caries in methamphetamine abusers. *AIDS Patient Care STDS.* 2006;20(3):146-50. DOI: 10.1089/apc.2006.20.146
30. Goodchild JH, Donaldson M. Methamphetamine abuse and dentistry: a review of the literature and presentation of a clinical case. *Quintessence Int.* 2007;38(7):583-90. PMID: 17694215
31. Rommel N, Rohleder NH, Wagenpfeil S, Härtel-Petri R, Jacob F, Wolff K-D, et al. The impact of the new scene drug "crystal meth" on oral health: a case-control study. *Clin Oral Investig.* 2016;20(3):469-75. DOI: 10.1007/s00784-015-1527-z
32. Rommel N, Rohleder NH, Koerdt S, Wagenpfeil S, Härtel-Petri R, Wolff K-D, et al. Sympathomimetic effects of chronic methamphetamine abuse on oral health: a cross-sectional study. *BMC Oral Health.* 2016;16(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s12903-016-0218-8>
33. Brown RE, Morisky DE, Silverstein SJ. Meth mouth severity in response to drug-use patterns and dental access in methamphetamine users. *J Calif Dent Assoc.* 2013;41(6):421-8. PMID: 23875434.
34. Titsas A, Ferguson MM. Impact of opioid use on dentistry. *Aust Dent J.* 2002;47(2):94-8. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2002.tb00311>.
35. Abed H, Hassona Y. Oral healthcare management in heroin and methadone users. *Br Dent J.* 2019;226(8):563-7. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41415-019-0206->
36. Nathwani NS, Gallagher JE. Methadone: dental risks and preventive action. *Dent Update.* 2008;35(8):542-4, 547-8. DOI: <https://doi.org/10.12968/denu.2008.35.8.542>
37. Ma H, Shi X-C, Hu D-Y, Li X. The poor oral health status of former heroin users treated with methadone in a Chinese city. *Med Sci Monit.* 2012;18(4):PH51-5. PMID: 22460103
38. Aukštakalnis R, Jurgelevičius T. The oral health status and behaviour of methadone users in Lithuania. *Stomatologija.* 2018;20(1):27-31.
39. Lombardo G, Lugoboni F, Signoriello A, Liboni P, Fiorino A, Nocini PF. Assessment of oral conditions in individuals treated with methadone: A research report. *Oral Health Prev Dent.* 2020;18(1):19-26. DOI: <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.a43937>
40. Al Bush M. An oral cavity profile in illicit- Drug abusers? *J Indian Soc Periodontol.* 2019;23(6):517. DOI: doi: 10.4103/jisp.jisp_716_18
41. Laslett A-M, Dietze P, Dwyer R. The oral health of street-recruited injecting drug users: prevalence and correlates of problems. *Addiction.* 2008;103(11):1821-5. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1360-0443.2008.02339.x>
42. Brown C, Krishnan S, Hursh K, Yu M, Johnson P, Page K, et al. Dental disease prevalence among methamphetamine and heroin users in an urban setting. *J Am Dent Assoc.* 2012;143(9):992-1001. DOI: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2012.0326>
43. Shekarchizadeh H, Khami MR, Mohebbi SZ, Ekhtiari H, Virtanen JI. Oral health of drug abusers: A review of health effects and care. *Iran J Public Health.* 2013;42(9):929-40. PMID: 26060654
44. V. AS. Radioterapia de intensidad modulada (IMRT). *Rev médica Clín Las Condes.* 2011;22(6):834-43. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0716-8640\(11\)70496-5](https://doi.org/10.1016/s0716-8640(11)70496-5)
45. Buglione M, Cavagnini R, Di Rosario F, Maddalo M, Vassalli L, Grisanti S, et al. Oral toxicity management in head and neck cancer patients treated with chemotherapy and radiation: Xerostomia and trismus (Part 2). Literature review and consensus statement. *Crit Rev Oncol Hematol.* 2016;102:47-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2016.03.012>
46. Ahmadi E, Fallahi S, Alaeddini M, Hasani Tabatabaei M. Severe dental caries as the first presenting clinical feature in primary Sjögren's syndrome. *Caspian J Intern Med.* 2013 Summer;4(3):731-4. PMID: 24009970
47. Clague J, Belin TR, Shetty V. Mechanisms underlying methamphetamine-related dental disease. *J Am Dent Assoc.* 2017;148(6):377-86. DOI: 10.1016/j.adaj.2017.02.054
48. Understanding what causes meth mouth. *Dent Abstr.* 2018;63(1):29-30. DOI: 10.1016/j.denabs.2017.09.022
49. De-Carolis C, Boyd GA, Mancinelli L, Pagano S, Eramo S. Methamphetamine abuse and meth mouth in Europe. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2015;e205-10. DOI: 10.4317/medoral.20204
50. Rosenstein DI. Effect of long-term addiction to heroin on oral tissues. *J Public Health Dent.* 1975;35(2):118-22. DOI: doi: 10.1111/j.1752-7325.1975.tb04035.x.
51. Gupta N, Pal M, Rawat S, Grewal MS, Garg H, Chauhan D, et al. Radiation-induced dental caries, prevention and treatment - A systematic review. *Natl J Maxillofac Surg.* 2015;6(2):160-6. DOI: <https://doi.org/10.4103/0975-5950.183870>
52. González S, Sung H, Sepúlveda D, González M, Molina C. Oral manifestations and their treatment in Sjögrens syndrome. *Oral Dis.* 2014;20(2):153-61. DOI: <https://doi.org/10.1111/odi.12105>
53. Christensen LB, Petersen PE, Thorn JJ, Schiødt M. Dental caries and dental health behavior of patients with primary Sjögren syndrome. *Acta Odontol Scand.* 2001;59(3):116-20. DOI: <https://doi.org/10.1080/000163501750266684>
54. Mandel L, Carunchio MJ. Rampant caries from oral transmucosal fentanyl citrate lozenge abuse. *J Am Dent Assoc.* 2011;142(4):406-9. DOI: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2011.0195>
55. Reece AS. Dentition of addiction in Queensland: poor dental status and major contributing drugs. *Aust Dent J.* 2007;52(2):144-9. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2007.tb00480.x>
56. Tezal M, Scannapieco FA, Wactawski-Wende J, Meurman JH, Marshall JR, Rojas IG, et al. Dental caries and head and neck cancers. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg.* 2013;139(10):1054-60. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2013.4569>

57. Klasser GD, Epstein J. Methamphetamine and its impact on dental care. *J Can Dent Assoc.* 2005;71(10):759–62. PMID: 16324229
58. Shetty V, Harrell L, Clague J, Murphy DA, Dye BA, Belin TR. Methamphetamine users have increased dental disease: A propensity score analysis: A propensity score analysis. *J Dent Res.* 2016;95(7):814–21. DOI: 10.1177/0022034516640478
59. Wang P, Chen X, Zheng L, Guo L, Li X, Shen S. Comprehensive dental treatment for “meth mouth”: a case report and literature review. *J Formos Med Assoc.* 2014;113(11):867–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2012.01.016>
60. Fraser AD, Zhang B, Khan H, Ma H, Hersh EV. Prescription opioid abuse and its potential role in gross dental decay. *Curr Drug Saf.* 2017;12(1):22–6. DOI: <https://doi.org/10.2174/1574886311666160803111401>
61. Dobros K, Hajto-Bryk J, Wróblewska M, Zarzecka J. Radiation-induced caries as the late effect of radiation therapy in the head and neck region. *Contemp Oncol (Pozn).* 2016;20(4):287–90. DOI: 10.5114/wo.2015.54081
62. Omolehinwa TT, Akintoye SO. Chemical and radiation-associated jaw lesions. *Dent Clin North Am.* 2016;60(1):265–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cden.2015.08.009>
63. Turner L, Mupparapu M, Akintoye SO. Review of the complications associated with treatment of oropharyngeal cancer: a guide for the dental practitioner. *Quintessence Int.* 2013;44(3):267–79. DOI: <https://doi.org/10.3290/j.qi.a29050>
64. Palmier NR, Ribeiro ACP, Fonsêca JM, Salvajoli JV, Vargas PA, Lopes MA, et al. Radiation-related caries assessment through the International Caries Detection and Assessment System and the Post-Radiation Dental Index. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2017;124(6):542–7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2017.08.019>
65. Jacobson FL. Xerostomia (Sjögren's syndrome) associated with unusual dental caries. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1966;21(1):34–8. DOI: 10.1016/0030-4220(66)90009-0
66. Newbrun E. Current treatment modalities of oral problems of patients with sjögren's syndrome: Caries prevention. *Adv Dent Res.* 1996;10(1):29–34. DOI: <https://doi.org/10.1177/08959374960100010401>
67. Berman N, Vivino F, Baker J, Dunham J, Pinto A. Risk factors for caries development in primary Sjogren syndrome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2019;128(2):117–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2019.04.011>
68. Pedersen AML, Bardow A, Nauntofte B. Salivary changes and dental caries as potential oral markers of autoimmune salivary gland dysfunction in primary Sjögren's syndrome. *BMC Clin Pathol.* 2005;5(1):4. DOI: <https://doi.org/10.1186/1472-6890-5-4>
69. Mukherjee A, Dye BA, Clague J, Belin TR, Shetty V. Methamphetamine use and oral health-related quality of life. *Qual Life Res.* 2018;27(12):3179–90. DOI: 10.1007/s11136-018-1957-6
70. Shetty V, Mooney LJ, Zigler CM, Belin TR, Murphy D, Rawson R. The relationship between methamphetamine use and increased dental disease. *J Am Dent Assoc.* 2010;141(3):307–18. DOI: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2010.0165>
71. Palmier NR, Madrid CC, Paglioni M de P, Rivera C, Martins BNFL, Araújo ALD, et al. Cracked tooth syndrome in irradiated patients with head and neck cancer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2018;126(4):335–341. e2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2018.06.005>
72. Tolentino E de S, Centurion BS, Ferreira LHC, Souza AP de, Damante JH, Rubira-Bullen IRF. Oral adverse effects of head and neck radiotherapy: literature review and suggestion of a clinical oral care guideline for irradiated patients. *J Appl Oral Sci.* 2011;19(5):448–54. DOI: 10.1590/s1678-77572011000500003.
73. Lieshout HFJ, Bots CP. The effect of radiotherapy on dental hard tissue--a systematic review. *Clin Oral Investig.* 2014;18(1):17–24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-013-1034-z>
74. Allison DC, Holtom PD, Patzakis MJ, Zalavras CG. Microbiology of bone and joint infections in injecting drug abusers. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(8):2107–12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1271-2>
75. Kak V, Chandrasekar PH. Bone and joint infections in injection drug users. *Infect Dis Clin North Am.* 2002;16(3):681–95. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0891-5520\(02\)00016-8](https://doi.org/10.1016/S0891-5520(02)00016-8)
76. Grey A, Rix-Trott K, Horne A, Gamble G, Bolland M, Reid IR. Decreased bone density in men on methadone maintenance therapy: Bone density during methadone therapy. *Addiction.* 2011;106(2):349–54. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1360-0443.2010.03159.x>
77. Gotthardt F, Huber C, Thierfelder C, Grize L, Kraenzlin M, Scheidegger C, et al. Bone mineral density and its determinants in men with opioid dependence. *J Bone Miner Metab.* 2017;35(1):99–107. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00774-015-0732-9>
78. Kassin SS, Moutsopoulos HM. Clinical manifestations and early diagnosis of Sjögren syndrome. *Arch Intern Med.* 2004;164(12):1275–84. DOI: doi: 10.1001/archinte.164.12.1275
79. Pinheiro JB, Tirapelli C, Silva CHL da, Komesu MC, Petean FC, Louzada Junior P, et al. Oral nodular lesions in patients with sjögren's syndrome: Unusual oral implications of a systemic disorder. *Braz Dent J.* 2017;28(3):405–12. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6440201601013>
80. Herrera A. Efectos sistémicos y bucodentales por metanfetaminas. Tesis de licenciatura. Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México. 2011.
81. Mejía S, Petra M & Ortega A. La entrevista a familiares en la búsqueda e identificación de personas extraviadas o desaparecidas. *Dim. antrop.* 2018; 25(72).
82. Fondebrider L. Guía forense para la investigación, recuperación y análisis de restos óseos. Primera edición. Equipo argentino de antropología forense; 2020.
83. Barrantes R., Valle M., Krenzer U., Hofmeister U., Fondebrider L., Cagigao E. T., De la Flor G. C. Guía Práctica Para La Recuperación Y Análisis De Restos Humanos. Primera edición. Lima, Perú. Comité Internacional de la Cruz Roja; 2017.
84. García B. L., & López E. Los aportes de los marcadores de actividad física en la identificación humana: revisión

- de propuestas metodológicas. En: Robles B, editor. Estudios de antropología biológica volumen XVII. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2015.
85. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SSA3-2012, Del expediente clínico. Diario Oficial de la Federación. 29 de Junio del 2012.
 86. Norma Oficial Mexicana NOM-013-SSA2-2015. Para la prevención y control de enfermedades bucales. Diario Oficial de la Federación. 23 de Noviembre del 2016.
 87. Gil-Chavarría I. Características dentales para identificación de personas: de la teoría a la práctica en México. Ciudad de México. Publicado 2021. Recuperado de: https://www.identificacionhumana.mx/wp-content/uploads/2021/05/06_03_Caracteristicas-dentales-para-identificacion-de-personas-de-la-teoria-a-la-practica-en-Mexico.pdf
 88. Sistema Nacional de Búsqueda de Personas. Protocolo Homologado para la Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas México; Mayo 2020.
 89. Siu ASC, Chu FCS, Yip HK. Cough syrup addiction and rampant caries: a report of two cases. *Prim Dent Care*. 2002;9(1):27–30. DOI: <https://doi.org/10.1308/135576102322547520>.
 90. Santos-Silva AR, Feio P do SQ, Vargas PA, Correa MEP, Lopes MA. CGVHD-related caries and its shared features with other 'dry-mouth'-related caries. *Braz Dent J*. 2015;26(4):435–40. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6440201300200>



ARTÍCULOS DE DIFUSIÓN

Nuevas sustancias psicoactivas: un reto para la química y la toxicología forense

Alejandra Quijano Mateos^{1*}, Luz Alejandra Castillo Alanis¹, María Elena Bravo Gómez¹

Adscripción:

¹Laboratorio de Toxicología y Química Forense, Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

* alejandra.quijano@cienciaforense.facmed.unam.mx

Datos del artículo:

Cita: Quijano Mateos A, Castillo Alanis LA, Bravo Gómez ME. 2022. La estimación del error en métodos Nuevas sustancias psicoactivas: un reto para la química y la toxicología forense. Artículo de difusión / divulgación. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(1): 60-69 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sánchez

Recibido: 28 octubre 2021.

Aceptado: 19 abril 2022.

Publicado: 28 abril 2022.

Resumen

El presente manuscrito versa sobre las llamadas “Nuevas sustancias psicoactivas” (NSP) que son sustancias de abuso que no son controladas por la Convención Única de 1961 sobre Estupefacientes ni por el Convenio sobre Sustancias Sicotrópicas de 1971, pero cuya producción y distribución como “euforizantes legales” presupone una amenaza para la salud pública y un gran reto para químicos y toxicólogos forenses. Muchas de estas sustancias se sintetizan para ser química y/o farmacológicamente parecidas a las “drogas convencionales” que sí están fiscalizadas por lo que se venden sin restricciones y la falta de información sobre sus características tanto fisicoquímicas como sus efectos entorpecen tanto el tratamiento de las intoxicaciones como su identificación en los laboratorios forenses. En este artículo se revisan las generalidades de estas sustancias, las acciones que actualmente se han adoptado en algunas partes del mundo para contrarrestar sus efectos negativos y los retos legales en la práctica forense, desde la perspectiva analítica, toxicológica y legal.

Palabras clave: Nuevas sustancias psicoactivas, toxicología forense, química forense, droga sintética, legislación o control de drogas.

Abstract

This manuscript deals with the so-called “New psychoactive substances”, which are substances of abuse that are not controlled by the Single Convention on Narcotic Drugs of 1961 or by the Convention on Psychotropic Substances of 1971, but their production and distribution presupposes a threat to the public health and a great challenge for forensic chemists and toxicologists. Many of these substances are synthesized to be chemically similar to controlled “conventional drugs”, and they are sold without restrictions, however, the lack of information on both their physicochemical characteristics and their effects hinders the treatment of poisonings and their identification in forensic laboratories. In this article general aspects regarding these substances are reviewed, including international efforts to counter their negative effects and the legal challenges in forensic practices from the analytical, toxicological and juridical perspectives.

Key words: New psychoactive substances, forensic toxicology, forensic chemistry, synthetic drugs, drug legislation and control.

Introducción

Las sustancias de abuso, coloquialmente conocidas como “drogas”, son sustancias que actúan sobre el sistema nervioso provocando efectos como la alteración del ánimo o la percepción, cuyo consumo reiterado puede crear dependencia o puede tener efectos secundarios indeseados para la salud de quien las consume. Debido a esto, existen convenios internacionales y legislaciones nacionales que regulan su producción y comercio. Sin embargo, existe un grupo de sustancias conocidas en el mercado por términos tales como “drogas de diseño”, “euforizantes legales”, “hierbas euforizantes” y “sales de baño” entre otros, que tienen la característica en común de no estar controladas por la Convención Única de 1961 sobre Estupefacientes ni por el Convenio sobre Sustancias Sicotrópicas de 1971, pero que pueden suponer una amenaza para la salud pública. La Oficina de las Naciones Unidas contra las Drogas y el Crimen (UNODC) define a este grupo de sustancias como “nuevas sustancias psicoactivas (NSP)”, y comprende un grupo de sustancias, naturales o sintéticas, que, a pesar de no ser necesariamente de descubrimiento o síntesis reciente, no han sido incorporadas en las Convenciones antes mencionadas y han aparecido recientemente en el mercado(1). Las NSP tienen efectos similares a los de las drogas ilegales pues actúan también sobre el sistema nervioso por lo que se emplean como sustitutos legales de ellas.

Las NSP representan un riesgo para la salud, especialmente por el poco conocimiento que existe de los efectos que produce su consumo. En varios países del mundo se han reportado casos de urgencias y muertes asociadas al uso de este tipo de sustancias (2). Un ejemplo de este fenómeno es la crisis de opioides sintéticos que afecta principalmente a Norteamérica con fentanilo y sus análogos, y en partes de África, Asia y Medio Oriente con tramadol, lo que ha provocado un gran número de fallecimientos vinculados a su consumo(3).

El presente artículo pretende dar a conocer de forma general cuáles son los principales retos que representan estas sustancias para su identificación y control, lo cual deriva en gran medida del gran número de sustancias que son clasificadas como NSP, la velocidad con la que entran y salen del mercado; la falta

de información sobre sus efectos, potencia, contenido y perfil de riesgo.

Dificultades en su legislación

La globalización y las tecnologías de información han permitido que la manufactura y uso de las NSP se disemine rápidamente alrededor del mundo (4). La conectividad que ofrece el internet facilita el acceso a los métodos de síntesis y permite también que nuevas sustancias se vendan en línea por varios proveedores en países con marcos regulatorios débiles. Estas sustancias se comercializan en envoltorios atractivos que identifican el producto en el etiquetado como inciensos herbales o sales de baño, acompañado de una advertencia que disuade su uso para consumo humano (5). Estos productos a menudo contienen sustancias impuras o mezclas que son difíciles de identificar, fáciles y baratas de sintetizar y cuyos efectos y toxicidad son desconocidos (6), no solo por las características propias de estas sustancias sino por sus impurezas y residuos de síntesis.

Debido a que las NSP no están sometidas al control internacional, su estatus legal puede diferir mucho entre los países. Hasta el 2020, más de 60 países habían implementado respuestas legales para controlar las NSP (7), en muchos casos se adecuó la legislación existente y en otros casos se emplearon instrumentos legales innovadores. Algunos países, principalmente en aquellos en donde las NSP han evolucionado rápidamente, se han adoptado políticas más proactivas para controlar grupos amplios de sustancias, usando una aproximación genérica o análoga cuyo fundamento es la similitud química con sustancias ya sometidas a control en la legislación. Algunas críticas a este mecanismo de control indican que se restringe también la investigación acerca de los beneficios terapéuticos de estas sustancias, además de que existe incertidumbre acerca de cuáles sustancias son las que están controladas. Otros países han respondido con prohibiciones generales sobre todas las sustancias psicoactivas (8), esta estrategia ignora aún más el potencial terapéutico de algunas de ellas, limita la investigación y prohíbe sustancias que representan bajo riesgo para producir daño (9). En otros casos los países optan por listar directamente algunas sustancias. Para

encontrar más información sobre las respuestas legales en el mundo puede consultar el siguiente enlace: <https://www.unodc.org/LSS/Page/NPS/LegalResponses>

En México la regulación de las sustancias psicoactivas (10) se encuentra en la Ley General de Salud, en su Capítulo VI, artículo 245. En este artículo las sustancias psicoactivas se clasifican en cinco grupos en función de su valor terapéutico y el problema de salud pública que representen. Desde el año 2014 se incluyeron la mefedrona, la 1,3-trifluorometilfenilpiperazina (TFMPP) y una categoría general de cannabinoides sintéticos en el apartado I: “Las que tienen valor terapéutico escaso o nulo y que, por ser susceptibles de uso indebido o abuso, constituyen un problema especialmente grave para la salud pública” (11)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) evalúa periódicamente las propiedades que generan dependencia y el daño potencial a la salud de las sustancias psicoactivas. Las recomendaciones de la OMS, con respecto al control internacional en virtud de las Convenciones Internacionales de Fiscalización de Drogas, se hacen al Secretario General de las Naciones Unidas y están sujetas a la votación de la Comisión de Estupefacientes de las Naciones Unidas (CND, por sus siglas en inglés). Este año 5 NSPs serán consideradas para una revisión crítica en la 44ª reunión del Comité de Expertos de la OMS en Farmacodependencia (ECDD, por sus siglas en inglés), incluyendo un cannabinoide sintético (4F-MDMB-BICA), dos opioides sintéticos (Brorfina y Metonitazeno) y dos estimulantes (Eutilona y Benzilona). Así mismo, el kratom, una NSP de origen vegetal junto con mitraginina y 7-hidroxitmitraginina, dos sustancias que se encuentran en el kratom se considerarán para una revisión previa (12).

Principales grupos de nuevas sustancias psicoactivas (NSP)

Hasta diciembre de 2020 se han reportado 1,047 diferentes sustancias al Sistema de Alerta Temprana (EWA, por sus siglas en inglés) de la UNODC (13). Este grupo tan variado de sustancias se puede clasificar de acuerdo con diferentes criterios, según el objetivo que se tenga. En un intento por describir las NSP se han formado

distintos grupos de sustancias emergentes, la UNODC reúne a las NSP en diferentes grupos; fenitilaminas, piperazinas, catinonas sintéticas, cannabinoides sintéticos, aminoidanos, sustancias de tipo fencidiclina, triptaminas, sustancias a base de plantas y un grupo de otras sustancias (1). El mecanismo de acción y sus efectos dependen de la estructura química de cada una de ellas y su interacción con los receptores del sistema nervioso central (SNC). Para los fines de este artículo, presentaremos una clasificación general desde un punto de vista farmacológico, catalogando las NSP en función de sus efectos en cuatro principales grupos: estimulantes sintéticos, cannabinoides sintéticos, depresores sintéticos y alucinógenos sintéticos (14).

1. Estimulantes sintéticos

Es el grupo más ampliamente estudiado de NSP, éste a su vez comprende una gran variedad de grupos de compuestos y son sustancias diseñadas para replicar los efectos de los estimulantes tradicionalmente controlados como la cocaína, las anfetaminas y metanfetaminas. Un ejemplo de estas sustancias son las catinonas sintéticas, mejor conocidas como “sales de baño”. Como su nombre sugiere, los estimulantes son fármacos que aumentan la actividad en el sistema nervioso a nivel cognitivo y motriz. Los estimulantes sintéticos pueden tener una gran diversidad de estructuras químicas y se les encuentra en diferentes formulaciones sólidas como polvos o tabletas que a su vez pueden ser tragadas (la vía oral representa la principal ruta de administración), insufladas, inyectadas o fumadas. De manera general, presentan efectos como euforia, incremento en sentimientos de empatía y compasión, aumento en la sensación de seguridad, sociabilidad, libido, energía y estado de alerta. Por otro lado, el consumo de estimulantes sintéticos se asocia a efectos adversos relacionados con alteraciones graves o fatales a nivel cardíaco, metabólico, neuropsiquiátrico y neuronales, además de presentar un alto potencial para generar adicción (14–16).

2. Cannabinoides sintéticos

Los cannabinoides sintéticos fueron el primer grupo de NSP formalmente identificados por el Centro Europeo

de Monitoreo de Drogas y Drogadicción (EMCDDA por sus siglas en inglés) y comprenden el grupo más diverso de éstas. Inicialmente se trataban de sustancias parecidas químicamente a los principios activos de la marihuana (principalmente el THC), de tal manera que podrían presentar efectos parecidos a los experimentados en el consumo de marihuana, pero no ser identificados por los métodos tradicionales de detección de cannabis. Un ejemplo de estas sustancias es el llamado *Spice*. A lo largo del tiempo se han desarrollado numerosas sustancias que distan mucho de la estructura química de los cannabinoides tradicionales, pero se catalogan bajo esta categoría ya que comparten mecanismo de acción. Estos compuestos se producen en laboratorios en forma de polvos que posteriormente se disuelven y se rocían sobre material vegetal seco, inciensos, papeles o hasta tabaco ya que la principal forma de consumo es fumada. En algunas ocasiones se les puede encontrar en forma de polvos o líquidos para cigarrillos electrónicos o *vaping*. El mecanismo de acción de estas sustancias implica la interacción con un grupo de receptores en el sistema nervioso llamado “el sistema endocannabinoide”, que regula varias funciones fisiológicas relacionadas con la cognición, sensación de dolor, apetito, digestión y regulación del sistema inmune. Las personas que consumen estas sustancias generalmente buscan obtener las experiencias positivas relacionadas a los reportados para el THC como: relajación, desinhibición, estimulación del apetito, etc. Sin embargo, los cannabinoides sintéticos están relacionados con un amplio abanico de efectos adversos tales como complicaciones cardiovasculares y respiratorias, daño renal y eventos cerebrovasculares peligrosos tales como infartos cerebrales (14,17–20).

3. Depresores sintéticos

Los depresores son fármacos que disminuyen los niveles de neurotransmisión y en turno deprimen ciertas actividades en algunas áreas del cerebro o receptores específicos, incluida la actividad motriz relacionada con la respiración. Los depresores sintéticos se subdividen en dos subcategorías principales: benzodicepinas sintéticas y los opioides sintéticos; ya que, a pesar de que presentan efectos iniciales parecidos, su impacto en la salud mental y el tratamiento de las intoxicaciones difieren entre sí. Las benzodicepinas sintéticas son

variaciones químicas de los fármacos que normalmente se recetan en el ámbito psiquiátrico y se consumen con fines recreacionales con el fin de experimentar los efectos hipnóticos y ansiolíticos, así como las reportadas sensaciones subjetivas de euforia o *high*. Algunos de los efectos adversos incluyen: confusión, náuseas, mareo, fatiga, alucinaciones auditivas y visuales, delirio, convulsiones, desórdenes de sueño y coma. Por su parte, los opioides sintéticos comprenden sustancias de diferente naturaleza química que pueden unirse a los mismos receptores en el cerebro que los opiáceos tradicionales como la morfina, la codeína y la heroína. Como estas sustancias se unen a los mismos receptores que los opioides tradicionales, pueden generar efectos similares como analgesia, disminución de ansiedad, relajación y anestesia. Algunos de los efectos adversos incluyen náuseas, mareos, constipación, vómito y depresión respiratoria. Uno de los aspectos más preocupantes de los opioides sintéticos es que tienen un alto potencial adictivo y rápidamente se genera tolerancia a su consumo, por lo que un usuario habitual de estas sustancias eventualmente necesita consumir cada vez mayores cantidades para obtener los efectos deseados; sin embargo, corre mayor riesgo de sufrir una sobredosis, que en muchos casos resulta fatal por la depresión total del sistema respiratorio. El desarrollo de opioides sintéticos ha llevado a formulación de sustancias como el fentanilo cuya potencia es entre 50 y 100 veces mayor a la de la morfina y cuyo uso indistinto de otros analgésicos opioides ha resultado en la muerte de numerosas personas, incluidas varias personalidades del mundo del entretenimiento. Los opioides sintéticos son de particular preocupación ya que han contribuido significativamente a la llamada “Crisis de los opioides” que afecta actualmente a Estados Unidos y Canadá (14,21–27).

4. Alucinógenos sintéticos

Este grupo se subdivide en dos categorías principales: alucinógenos y disociativos. Los alucinógenos son fármacos que causan alteraciones en la percepción de la realidad de quien los consume, deformando la forma en la que la persona percibe el transcurso del tiempo, el movimiento, los colores, los sonidos y sí mismo. Bajo la influencia de los alucinógenos, las personas tienen experiencias sensoriales que parecen reales,

pero no existen; además, algunos alucinógenos pueden producir vaivenes emocionales rápidos e intensos. Ejemplos de éstos son las triptaminas o los derivados del LSD. Los alucinógenos sintéticos interactúan con los receptores de la serotonina, que es un neurotransmisor involucrado en el control del humor, apetito, temperatura corporal, conducta sexual, control muscular y percepción sensorial. Estas sustancias se pueden inhalar, ingerir, inyectarse o administrarse sublingualmente. Algunos de los efectos buscados por parte de los consumidores incluyen: euforia y alegría, alteraciones en la percepción del tiempo-espacio, aumento en la creatividad e introspección y experiencias espirituales o místicas. Algunos efectos adversos comprenden movimientos involuntarios hiperactivos, así como anomalías neuromusculares y una amplia gama de crisis psiquiátricas. Por su parte, los disociativos fueron desarrollados inicialmente como anestésicos para cirugía. Estas sustancias distorsionan las percepciones visuales y auditivas y producen sentimientos de aislamiento o disociación del medio ambiente y del consumidor mismo; sin embargo, estas alteraciones no son alucinaciones. Ejemplos de estas sustancias son la Ketamina y el “polvo de ángel” o PCP. Estas sustancias se pueden inhalar, insuflar, ingerir o inyectar directamente a la vena. Los efectos que busca el consumidor incluyen la sensación de desconexión entre pensamientos, identidad, memoria y consciencia, así como distorsiones sensoriales y euforia. Los efectos adversos comunes incluyen el impedimento lógico, y daño renal (14,28–33).

Disponibilidad y principales grupos de usuarios

Si bien históricamente el narcomenudeo ha operado de manera física, el desarrollo de mercados virtuales en el internet ha cambiado las dinámicas de la compra-venta, ampliando las redes de distribución e interacciones entre las partes, así como el público al que un sinnúmero de productos, incluidas las drogas, puede llegar. La venta de drogas y otros productos ilícitos también son parte de esta revolución mercantil, mediante los mercados de la red oscura o *darknet* y el uso de criptomonedas. Los mercados de la red oscura se encuentran “escondidos” en el internet y ofrecen mecanismos de anonimidad para

usuarios y proveedores, haciendo que el seguimiento del mercado de drogas ilegales sea complicado, cosa que no necesariamente aplica a las NSP (34).

El mercado de fármacos en la red se asocia principalmente con la distribución de sustancias no controladas o sustancias cuyo control legal varía entre países y jurisdicciones. La falta de consenso en la regulación para la distribución del universo de las sustancias químicas representa una gran área de oportunidad para la venta y distribución de las NSP. Estas sustancias se venden en el mercado virtual como alternativas “legales” a las sustancias sometidas a fiscalización internacional y con frecuencia se agrega en las cláusulas de exención de responsabilidad la calificación de “no aptas para consumo humano”, tratando de eludir las leyes internacionales y nacionales. La formulación de cada vez más sustancias permite la permanencia de las NSP en el mercado a pesar de los esfuerzos por enlistar sustancias o grupos de sustancias para fiscalizar. Además de estos mercados, el crecimiento de las redes sociales ha visto la aparición de foros y aplicaciones móviles donde se discuten, promocionan y, a veces, se venden las drogas (7,34).

La información sobre los usuarios de las NSP es escasa o contradictoria ya que los estudios de prevalencia se basan en diferentes poblaciones o sustancias. La estrategia tradicional para identificar el uso de Drogas en la población está limitada a encuestas en donde se consulta el autoconsumo. Algunas de estas encuestas, principalmente en Europa, muestran una gran exposición de jóvenes y adultos a las NSP en los centros nocturnos (35). Además de esto, otras encuestas indican la prevalencia de consumo en adultos jóvenes (15-34 años) con conocimientos y experiencias previas con drogas tradicionales (36).

En general la novedad, legalidad y asequibilidad se mencionan en este tipo de encuestas como los principales motivadores para consumir NSP entre los consumidores jóvenes (37); por otra parte, en otros grupos de consumidores por ejemplo, las personas en prisión o que están sometidas a controles de uso de sustancias, la principal motivación es evitar el resultado positivo en las pruebas toxicológicas de rutina, así como cierta facilidad para acceder a ella debido a su alta potencia (mayor efecto con mucho menor cantidad) y costos reducidos. A pesar de la falta los estudios

estadísticos a nivel nacional e internacional, algunos esfuerzos se han realizado por analizar las páginas de internet, foros y redes sociales a modo de obtener la información más actualizada sobre las NSP (38,39).

El mercado de las NSP es muy dinámico, estudios recientes han revelado que el confinamiento debido al COVID-19 ha provocado cambios en los patrones de consumo habituales de las sustancias de abuso entre consumidores, migrando hacia las NSP las cuales se pueden adquirir en línea y entregadas por el servicio postal, lo que evita los inconvenientes legales (39–41). Así mismo, por la misma razón, los traficantes se han visto obligados a encontrar nuevas rutas y métodos y es probable que las actividades de tráfico a través de la *darknet* o red oscura y los envíos por correo aumenten, a pesar de la interrupción de la cadena de suministro postal a nivel internacional. La pandemia también ha ocasionado una escasez de opioides, lo cual a su vez puede dar lugar a que las personas recurran a sustancias más fácilmente disponibles como alcohol, benzodiazepinas o mezclas de drogas sintéticas (42).

Monitoreo

Con la globalización, el mercado de las drogas sintéticas se diversifica cada vez más, lo que genera problemas para detectar, identificar y vigilar esas sustancias, así como para incorporarlas en las regulaciones de los países.

Los gobiernos miembros de la Naciones Unidas han reconocido la importancia de redoblar los esfuerzos a nivel nacional e internacional, fortaleciendo el intercambio de información por conducto de sistemas de alerta temprana (43). Los Sistemas de Alertas Tempranas (SAT) permiten el intercambio de información entre agentes cuya labor está directa o indirectamente relacionada con las drogas. El objetivo de un SAT es detectar lo antes posible drogas emergentes que representan una posible amenaza para la salud pública y alertar sobre su existencia (44).

La UNODC estableció el primer sistema internacional de monitoreo de NSP en el marco de su Programa Global de Monitoreo de las Drogas Sintéticas, el sistema de alerta temprana (SAT) de la UNODC sobre NSP (conocido por su sigla en inglés como EWA) es un sistema electrónico para el envío

voluntario de datos que sirve de plataforma para el intercambio de información pertinente sobre NSP (45). Los usuarios registrados pueden acceder a información específica como son datos relativos a tendencias, información química y farmacológica; y documentación complementaria sobre análisis de laboratorio y respuestas legislativas. El sistema de alerta temprana también contribuye a identificar las NSP más nocivas, prevalentes y persistentes a nivel mundial. Esta identificación constituye una aportación importante al examen de sustancias que realiza la OMS en el contexto de los tratados de fiscalización internacional de drogas (44).

Los gobiernos han establecido SAT a nivel nacional que se incorporan a sistemas regionales. Los SAT nacionales suelen integrarse en una institución como el Observatorio Nacional de Drogas (OND), que sirve de centro de coordinación o de intercambio de información encargado de recopilar, analizar y enriquecer la información y los datos suministrados por las partes interesadas (46). El sistema de alerta temprana de la Unión Europea es el mejor ejemplo de mecanismo regional de alerta temprana, ya que incluye los SAT nacionales de 30 países europeos los cuales reúnen, evalúan y difunden rápidamente información sobre NSP y los productos que las contienen. Estos sistemas de información ayudan a la UE a detectar y evaluar con prontitud las amenazas para la salud y la sociedad planteadas por las NSP y a responder ante ellas con rapidez.

A nivel Latinoamérica, el Programa Global SMART de la UNODC, la Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas (CICAD) (47), la Unión Europea a través de su Programa de Cooperación en Políticas de Drogas (COPOLAD) (48) y el Observatorio Europeo de las Drogas y las Toxicomanías (EMCDDA) apoyan la creación y el desarrollo de SAT nacionales en América Latina y el Caribe. Varios países de América como Argentina, Chile, Colombia y Uruguay han establecido SATs y han estado funcionando durante al menos los dos últimos años(49). Por su parte, la CICAD/OID estableció en 2019 el Sistema de Alerta Temprana para las Américas (SATA) con el fin de recopilar información a nivel regional de los SAT nacionales. Para más información acerca del SATA, ver el sitio Web de CICAD: (<http://>

www.cicad.oas.org/Main/Template.asp?File=/oid/sata/default_eng.asp).

A pesar de que en nuestro país no se cuenta propiamente con un SAT, a nivel nacional, contamos con el sistema de información del Observatorio Mexicano de Tabaco, Alcohol y otras Drogas (OMEXTAD)(50), este es un recurso en línea que permite llevar a cabo la vigilancia epidemiológica de las adicciones en el ámbito de la oferta y la demanda mediante la cooperación con el Sistema de Vigilancia Epidemiológica de las Adicciones (SISVEA), los Centros de Integración Juvenil (CIJ), el Sistema de Información de los Consejos Estatales contra las Adicciones (SICECA) y el Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia (CENAPI). El Observatorio está conformado por tres módulos que dan respuesta a las necesidades actuales que la Comisión Nacional contra las Adicciones ha establecido en el contexto de la oferta y la demanda. Mediante la inclusión de bases de datos de diversas fuentes de información; así como encuestas nacionales y/o locales el OMEXTAD brinda información oportuna y confiable para la toma de decisiones. Asimismo, México como país miembro de las Naciones Unidas, reporta a la ONUDC las NSP que circulan a nivel nacional, sin embargo, sus reportes son muy escasos (51).

Los laboratorios de análisis de drogas y los laboratorios toxicológicos son una pieza clave para el buen funcionamiento de los SAT debido a que cuentan con especialistas que realizan análisis químico de las incautaciones de posibles sustancias psicoactivas y confirman su identidad. De esta forma, a través del trabajo de estos laboratorios, se conocen las sustancias que se encuentran disponibles en los mercados de drogas en ese momento y se puede además aportar información relativa a la detección e identificación de NSP para posteriormente hacer la notificación y depositar la información a los sistemas de alerta temprana(44). Sin embargo, es importante mencionar que, a pesar de ser una forma de tener información actualizada sobre el mercado, no deben confundirse estos datos con la prevalencia de uso, pues puede variar debido a diferentes factores.

Entre las funciones que realizan los laboratorios de análisis de drogas y de toxicología se encuentran (44):

- Detectar e identificar sustancias nuevas y conocidas, así como mezclas de estas, que constituyan una posible amenaza.
- Cooperar para mejorar la caracterización analítica de las NSP y otras drogas.
- Sistematizar y validar la información recogida en el sistema.
- Suministrar datos extraídos de los análisis de drogas e información de inteligencia.
- Apoyar la recopilación de datos a nivel nacional, regional e internacional.
- Identificar adulterantes y determinar la pureza de las sustancias en las muestras incautadas.

Con estas acciones en mente, estos laboratorios y sus reportes son parte fundamental del buen funcionamiento de los SAT. La alerta temprana y la priorización de las NSP más nocivas, prevalentes y persistentes para que sean objeto de examen internacional es fundamental para comprender la evolución de las NSP y recopilar datos en los que fundamentar las respuestas normativas.

Desde el año 2016, se ha observado un decremento en el número de NSPs que se reportan anualmente por las dos organizaciones de monitoreo principales, la UNODC y la EMCDDA(37). El comportamiento general de las NSPs que se someten a fiscalización internacional es que el número de países que notifican esas sustancias disminuye después del año que se adoptó la decisión de someterla a fiscalización. Aunque, en muchos casos, esa tendencia había comenzado antes de que se adoptara esa decisión (52).

Es posible que el número anual aparentemente estable de NSP notificadas en los últimos años enmascare una evolución dinámica subyacente. En el plano mundial, se observa con claridad un cambio en torno a 2015 o 2016, cuando algunos grupos de efectos farmacológicos parecen estabilizarse en cuanto al número anual de NSP notificadas, e incluso pueden presentar una disminución importante como es el caso de los cannabinoides sintéticos. Sin embargo, el grupo farmacológico de los receptores a opioides sintéticos (denominados opioides sintéticos) y sedantes hipnóticos incluidas las NSP de tipo benzodiazepínico, presenta una tendencia al alza (52).

Las NSP se identificaron primero en países de altos ingresos, por tanto, mucha de la evidencia acerca de su uso y su aparición proviene de países desarrollados. Sin embargo, existe una preocupación creciente sobre el posible comercio de NSP en países menos desarrollados económicamente con marcos regulatorios más débiles. Más de 110 países y territorios han reportado una o más NSP a la UNODC, a pesar de que la definición de la UNODC es amplia e incluye sustancias que provienen de plantas como el Khat o incluso sustancias muy viejas en el mercado como la ketamina (53). La falta de capacidad para vigilar y las dificultades en distinguir algunas NSP de medicamentos falsificados o legítimos complica la evaluación de la magnitud del problema. Sin embargo, la disponibilidad de sustancias psicoactivas baratas y potentes puede representar un riesgo potencial a la salud pública en países en vías de desarrollo.

Retos analíticos

La aparición continua de NSP en el mercado es un reto continuo para los químicos y toxicólogos forenses que deben identificarlas. Las pruebas colorimétricas se emplean ampliamente en las investigaciones de campo relacionadas con la química forense; su fundamento es la manifestación de una reacción química entre la sustancia de “interés” y el reactivo que produce un cambio de color o la formación de un precipitado. Estas pruebas identifican ciertos grupos funcionales en la molécula que tienen la capacidad de reaccionar con el reactivo identificando de esta forma su presencia. Debido a la variedad estructural entre las NSP y a sus marcadas diferencias estructurales con las sustancias ilegales, no suelen ser identificadas por los mismos reactivos y pueden pasar desapercibidas. Así mismo, desde el punto de vista clínico, se usan inmunoensayos para la identificación rápida de la presencia de alguna sustancia psicoactiva, nuevamente la diversidad estructural evita que las NSP sean identificadas por los inmunoensayos de rutina, y es necesario implementar baterías más amplias para lograr su identificación.

En los últimos años se han desarrollado varios métodos analíticos para la determinación de NSP en distintas matrices. La mayor parte de los análisis utiliza la cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría

de masas de alta resolución (HPLC/MS, por sus siglas en inglés) para la identificación de estas sustancias (54). Estos métodos suelen identificar y cuantificar hasta cincuenta NPS usando una detección en target MS/MS (espectrometría de masas en tándem), con límite de cuantificación en el rango de ng/mL. La mayoría de estos métodos son específicos, están validados y aplicados en los laboratorios de toxicología forense y laboratorios de dopaje deportivo.

La variedad y evolución de las NSP han dado lugar a un desafío analítico continuo para la detección, identificación y cuantificación de estas sustancias en fluidos biológicos. Técnicas cromatográficas instrumentales, tales como HPLC/DAD, GC/MS, HPLC/MS, UPLC/MS/MS han proporcionado grandes ventajas, aunque subsiste la poca disponibilidad de estándares y el desconocimiento de los metabolitos que podrían generarse in vivo. Aunado a esto, no existen bases de datos comerciales de estas sustancias, por lo que su identificación requiere de la pericia de los especialistas (55–58).

Existe una necesidad urgente de caracterizar rápidamente tanto la sustancia activa como los agentes de corte dentro de los materiales incautados, para facilitar el trabajo de casos del laboratorio de química forenses, promover acciones oportunas de aplicación de la ley y sobre todo para facilitar el tratamiento oportuno de los consumidores en casos de intoxicaciones. Para abordar esto, el NIST (National Institute of Standards and Technology) ha desarrollado un centro de datos interactivo: NPS Data Hub (59). Este centro de datos facilita el intercambio de fichas espectrales sin procesar y su revisión por pares. Este espacio de trabajo dinámico está destinado a ser utilizado entre los laboratorios forenses internacionales como un sitio de intercambio de información analítica en la web que facilitará decisiones de identificación de NSP de forma rápida.

Comentarios Finales

Las NSP son un grupo de sustancias cuyo mercado, prevalencia y patrones de uso son muy dinámicos; representan un riesgo importante para la salud, especialmente por el poco conocimiento que existe de los efectos que produce su consumo, además de su potencial adictivo. Aunque parece haber indicios de

que la situación de las NSP en el plano mundial se está estabilizando, los análisis en determinadas regiones indican que la diversidad de NSP sigue creciendo, y en muchas otras no se tienen suficientes datos, por lo que es fundamental llevar a cabo un análisis regional más detallado para comprender mejor las tendencias. México, aunque reporta como país miembro de la UNODC, no cuenta con un SAT propiamente establecido, lo que podría contribuir a subestimar la presencia de NSP en nuestro país. Recientemente, en el 2019, en el Senado de la República se tuvo un punto de acuerdo en donde el Senado de la República (60) exhorta respetuosamente a la Secretaría de Salud para que en el ámbito de sus atribuciones realice una investigación sobre el auge de la comercialización en México de nuevas sustancias psicoactivas y sus implicaciones para la salud, así como que actualice y publique la lista de sustancias y narcóticos prohibidos.

Para ampliar la información sobre este tema se puede consultar el Conjunto de Herramientas de las Naciones Unidas sobre Drogas Sintéticas (disponible en: <https://syntheticdrugs.unodc.org/syntheticdrugs/es/index.html>), que cuenta con más de 260 recursos y herramientas multidisciplinarias de todo el sistema ONU para responder al surgimiento y proliferación de las drogas sintéticas (61). Esta plataforma está traducida al español y abarca aspectos jurídicos, de asistencia, seguridad postal, ciencias forenses, y sistemas de alerta temprana.

Bibliografía

1. United Nations Office on Drugs and Crime. What are NPS?. 2021.
2. Kraemer M, Boehmer A, Madea B, Maas A. Death cases involving certain new psychoactive substances: A review of the literature. *Forensic Sci Int*. 2019 ;298:186–267.
3. United Nations Office on Drugs and Crime. Integrated Strategy on the Global Opioids Crisis . 2018 .
4. Griffiths P, Evans-Brown M, Sedefov R. Getting up to speed with the public health and regulatory challenges posed by new psychoactive substances in the information age. *Addiction* . el 1 de octubre de 2013 ;108(10):1700–3.
5. Corazza O, Valeriani G, Bersani FS, Corkery J, Martinotti G, Bersani G, et al. “Spice,” “kryptonite,” “black mamba”: an overview of brand names and marketing strategies of novel psychoactive substances on the web. *J Psychoactive Drugs* 46(4):287–94.
6. Griffiths P, Sedefov R, Gallegos A, Lopez D. How globalization and market innovation challenge how we think about and respond to drug use: “Spice” a case study. *Addiction*. 2010 ;105(6):951–3.
7. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. Global SMART Sección especial: Respuestas jurídicas a las NSP: múltiples enfoques aplicables a un problema complejo. *Glob SMART Updat* 2015. 2015;14:11.
8. Reuter P, Pardo B. Can new psychoactive substances be regulated effectively? An assessment of the British Psychoactive Substances Bill. *Addiction*. 2017;112(1):25–31.
9. Stevens A, Measham F. The “drug policy ratchet”: why do sanctions for new psychoactive drugs typically only go up? *Addiction*. 2014;109(8):1226–32.
10. United Nations Office on Drugs and Crime. Drug Laws/Individual Listing for MEXICO. 2021.
11. Diario Oficial de la Federación. DECRETO por el que se reforman las fracciones I y III del artículo 245 de la Ley General de Salud. México; 2017. DOF: 07/01/2014.
12. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. Noticias: Julio de 2021 – OMS: Cinco nuevas sustancias psicoactivas se considerarán para control internacional en la 44a reunión del Comité de Expertos de la OMS en Farmacodependencia. 2021.
13. United Nations Office on Drugs and Crime. Current NPS Threats. Volume III. 2020.
14. Shafi A, Berry AJ, Sumnall H, Wood DM, Tracy DK. New psychoactive substances: a review and updates. *Ther Adv Psychopharmacol*. 2020 .
15. Prosser JM, Nelson LS. The toxicology of bath salts: a review of synthetic cathinones. *J Med Toxicol* 2012;8(1):33–42.
16. Valente MJ, Guedes De Pinho P, De Lourdes Bastos M, Carvalho F, Carvalho M. Khat and synthetic cathinones: A review. *Arch Toxicol* . enero de 2014 ;88(1):15–45.
17. Karila L, Benyamina A, Blecha L, Cottencin O, Billieux J. The Synthetic Cannabinoids Phenomenon. *Curr Pharm Des* . el 23 de septiembre de 2016 ;22(42):6420–5.
18. Debruyne D, Le Boisselier R. Emerging drugs of abuse: current perspectives on synthetic cannabinoids. *Subst Abuse Rehabil*. 2015 ;6:113–29
19. Alves VL, Gonçalves JL, Aguiar J, Teixeira HM, Câmara JS. The synthetic cannabinoids phenomenon: from structure to toxicological properties. A review. *Crit Rev Toxicol*. 2020; 50(5):359–82.
20. Fattore L, Fratta W. Beyond THC: The new generation of cannabinoid designer drugs. *Front Behav Neurosci*. 2011.
21. Lutfy K. Opioid Crisis-An Emphasis on Fentanyl Analogs. *Brain Sci*. 2020;10(8):1–3.
22. Armenian P, Vo KT, Barr-Walker J, Lynch KL. Fentanyl, fentanyl analogs and novel synthetic opioids: A comprehensive review. *Neuropharmacology*. 2018;134:121–32.
23. Zawilska JB, Wojcieszak J. An expanding world of new psychoactive substances—designer benzodiazepines. *Neurotoxicology*. 2019;73:8–16.
24. Moosmann B, Auwärter V. Designer benzodiazepines: Another class of new psychoactive substances. *Handb Exp Pharmacol*. 2018;252:383–410.
25. Brunetti P, Giorgetti R, Tagliabracci A, Huestis MA, Busardò FP. Designer benzodiazepines: A review of toxicology and public health risks. *Pharmaceuticals*. de 2021;14(6).
26. Beardsley PM, Zhang Y. Synthetic Opioids. *Handb Exp Pharmacol* . 2018 ;252:353–81. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30242482/>

27. Ventura L, Carvalho F, Dinis-Oliveira RJ. Opioids in the Frame of New Psychoactive Substances Network: A Complex Pharmacological and Toxicological Issue. *Curr Mol Pharmacol*. 2017;11(2):97–108.
28. Araújo AM, Carvalho F, Bastos M de L, Guedes de Pinho P, Carvalho M. The hallucinogenic world of tryptamines: an updated review. *Arch Toxicol*. 2015;89(8):1151–73.
29. Tittarelli R, Mannocchi G, Pantano F, Romolo F. Recreational Use, Analysis and Toxicity of Tryptamines. *Curr Neuropharmacol*. 2014;13(1):26–46.
30. Malaca S, Lo Faro AF, Tamborra A, Pichini S, Busardò FP, Huestis MA. Toxicology and analysis of psychoactive tryptamines. *Int J Mol Sci*. 2020 ;21(23):1–38.
31. Morgan CJA, Curran HV, Independent Scientific Committee on Drugs. Ketamine use: a review. *Addiction*. 2012;107(1):27–38.
32. Wallach J, Brandt SD. Phencyclidine-based new psychoactive substances. *Handb Exp Pharmacol*. 2018 ;252:261–303.
33. Morris H, Wallach J. From PCP to MXE: a comprehensive review of the non-medical use of dissociative drugs. *Drug Test Anal*. 2014;6(7–8):614–32.
34. Aldridge J. Cryptomarkets and the future of illicit drug markets. *Internet and Drug Markets, EMCDDA Insights*. 2016.
35. Soussan C, Kjellgren A. The users of Novel Psychoactive Substances: Online survey about their characteristics, attitudes and motivations. *Int J Drug Policy*. 2016;32:77–84.
36. Observatorio Europeo de las Drogas y las Toxicomanías. Informe Europeo sobre Drogas 2016: Tendencias y novedades. 2016. 84 p.
37. Observatorio Europeo de las Drogas y las Toxicomanías. *European Drug Report 2019: Trends and Developments | www.emcdda.europa.eu*. 2019.
38. Catalani V, Corkery JM, Guirguis A, Napoletano F, Arillotta D, Zangani C, et al. Psychonauts' psychedelics: A systematic, multi-lingual, web-crawling exercise. *Eur Neuropsychopharmacol*. 2021 ;49:69–92.
39. Catalani V, Arillotta D, Corkery JM, Guirguis A, Vento A, Schifano F. Identifying New/Emerging Psychoactive Substances at the Time of COVID-19; A Web-Based Approach. *Front psychiatry*. 2021 ;11.
40. Arillotta D, Guirguis A, Corkery JM, Scherbaum N, Schifano F. COVID-19 Pandemic Impact on Substance Misuse: A Social Media Listening, Mixed Method Analysis. *Brain Sci*. 2021;11(7):907.
41. Zaami S, Marinelli E, Vari MR. New Trends of Substance Abuse During COVID-19 Pandemic: An International Perspective. *Front Psychiatry*. 2020;11.
42. Naciones Unidas México. ONU México » El consumo global aumenta a pesar de que el COVID-19 tiene un impacto de gran alcance en los mercados mundiales de drogas . Comunicado Oficial. 2020.
43. UNGASS. Outcome Document of the 2016 United Nations General Assembly Special Session on the World Drug Problem: our joint commitment to effectively addressing and countering the world Drug Problem. En: *Spec . New York*; 2016 . p. 19-21
44. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. El papel de los laboratorios de análisis de drogas en los sistemas de alerta temprana. 2020.
45. United Nations Office on Drugs and Crime. UNODC Early Warning Advisory (EWA) on New Psychoactive Substances (NPS). 2021.
46. EMCDDA, CICAD-OAS. Building a national drugs observatory: a joint handbook | www.emcdda.europa.eu. Lisboa. 2010.
47. Observatorio Interamericano sobre Drogas. CICAD: Inter-American Observatory on Drugs (OID).
48. Programa de Cooperación entre América Latina; el Caribe y la Unión Europea en Políticas sobre Drogas. ¿Qué es COPOLAD? | COPOLAD.
49. Observatorio Interamericano sobre Drogas, Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas (CICAD). Informe del Sistema de Alerta Temprana de las Américas SATA: Boletín Informativo del Observatorio Interamericano sobre Drogas. 2020.
50. Comisión Nacional contra las Adicciones. Dossier Observatorio Mexicano de Drogas | Comisión Nacional contra las Adicciones | Gobierno | gob.mx. 2019.
51. Peacock A, Bruno R, Gisev N, Degenhardt L, Hall W, Sedefov R, et al. New psychoactive substances: challenges for drug surveillance, control, and public health responses. *Lancet (London, England)*. 2019 ;394(10209):1668–84.
52. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. La diversidad regional y las repercusiones de la fiscalización sobre las tendencias de las nuevas sustancias psicoactivas. *Glob SMART Updat*. 2021 ;25
53. United Nations Office on Drugs and Crime. News: February 2019 – UNODC-SMART: Almost 900 NPS reported to UNODC from 119 countries and territories. 2019.
54. United Nations Office on Drugs and Crime. Integrated Strategy on the Global Opioids Crisis. 2018.
55. Znaleznia J, Ginterová P, Petr J, Ondra P, Válka I, Ševčík J, et al. Determination and identification of synthetic cannabinoids and their metabolites in different matrices by modern analytical techniques - a review. *Anal Chim Acta*. 2015 ;874:11–25.
56. Concheiro M, Anizan S, Ellefsen K, Huestis MA. Simultaneous quantification of 28 synthetic cathinones and metabolites in urine by liquid chromatography-high resolution mass spectrometry. *Anal Bioanal Chem*. 2013 ;405(29):9437–48.
57. Beardsley PM, Zhang Y. Synthetic Opioids. En: *Handbook of experimental pharmacology . Handb Exp Pharmacol*; 2018 . p. 353–81.
58. Sekula K, Zuba D. Structural elucidation and identification of a new derivative of phenethylamine using quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Commun Mass Spectrom* . el 30 de septiembre de 2013 ;27(18):2081–90.
59. NPS Data Hub. NPS Data Hub/NPS Datahub.
60. Senado de la República. Gaceta del Senado. LXIV/1S-PO-130/94931. 2019.
61. Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. Kit de Herramientas de la ONU sobre Drogas Sintéticas.

Monos y humanos: unidos por más que crestas de fricción

Josué Elihú Ballesteros Ramírez^{1*}, Chantal Loyzance¹

Adscripción:

¹Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

*josue-br@hotmail.com

Datos del artículo:

Cita: Ballesteros-Ramírez JE, Loyzance C. 2022. Monos y humanos: unidos por más que crestas de fricción. Artículo de difusión / divulgación. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(1): 70-77 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sánchez

Recibido: 4 noviembre 2021.

Aceptado: 2 febrero 2022.

Publicado: 28 abril 2022.

Resumen

En la década de 1920, Edmond Locard logró resolver una serie de hurtos en la ciudad de Lyon, Francia. Lo único que tenía era una huella digital que habían encontrado en la escena del crimen; sin embargo, no correspondía a ningún criminal. Parecía todo en vano, hasta que se enteró del trabajo de investigación de Henry Faulds, quien mencionó que los primates también tenían huellas dactilares, como los humanos. Fue ahí donde Locard mandó reunir a todos los monos de Lyon y dio con el responsable, un mono adiestrado por un organillero para robar objetos brillantes. La investigación de las crestas de fricción de los primates se volvió un hito en la comunidad científica a mediados del siglo XX, implementando incluso una propuesta de sistema de clasificación de huellas para primates, parecido al de los seres humanos. Ya en el siglo XXI, el tema no ha tenido mucha trascendencia, sino hasta tiempos recientes donde se han reportado casos en los que monos han sido adiestrados para robar y han sido rehabilitados de esta conducta. La evolución de los primates en compañía con los seres humanos ha tenido un impacto de humanización sobre ellos, ya que replican las conductas que observan del ser humano, incluidas aquellas relacionadas con la comisión de delitos.

Palabras clave: Huella digital, huella dactilar, primates, identificación, humanización, delito.

Abstract

In 1920's, Edmond Locard solved some burglaries in Lyon, France. The only evidence found at crime scene was a fingerprint with no criminal related. It all seemed just because, just when he got information about Henry Faulds' research about fingerprints primates and their similarity to human prints. Locard asked to gather all monkeys in Lyon and he came up with the crook, was a monkey trained by its owner, an organ grinder, to burglar brilliant objects. The investigation of friction ridges in primates became a milestone in the scientific community in the middle of the 20th century, even implementing a proposal for a fingerprint classification system for primates, similar to humans. But not until the 21st century, the topic has not had much significance, but until recently, some cases have been reported in which monkeys have been trained to steal and have been rehabilitated from this behaviour. The evolution of primates in company with human beings has had a humanizing impact on them, since they replicate the behaviors that they observe in the human being, including those related to the commission of crimes.

Key words: Digital fingerprint, fingerprint, primates, identification, humanization, felony.

Introducción

Visto desde el ámbito jurídico formal, el delito es una conducta típica, antijurídica y culpable. Es decir, una acción u omisión (conducta) que se encuentra descrita dentro de una ley de algún lugar en específico (típica), que daña o vulnera algo que la misma ley protege y que en consecuencia pone en contra de la ley (antijurídica), y que alguien es responsable de la consecuencia de dicha acción u omisión (culpable) (1). Hablando específicamente del delito de robo, de acuerdo con el Código Penal Federal vigente, “comete el delito de robo, el que se apodera de una cosa ajena mueble, sin derecho y sin consentimiento de la persona que puede disponer de ella con arreglo a la ley” (2). Por lo tanto, podemos decir que alguien comete el delito de robo cuando toma sin permiso algo que no es suyo.

El delito de robo comenzó al mismo tiempo que el ser humano se desarrolló en pequeños grupos sedentarios. Esto se sabe debido a que las personas empezaron a utilizar armas y pequeños artefactos de uso personal para realizar sus tareas de manera más fácil y eficiente, dando como resultado el inicio de una etapa de propiedad privada; es decir, que una persona en concreto puede poseer cualquier bien (en este caso, las armas y herramientas) (3). Debido al esfuerzo, tiempo e incluso imaginación para crear sus propias herramientas, los humanos evitaban a toda costa que les quitaran sus pertenencias; pero no siempre daba buenos resultados, naciendo así el delito de robo (4). Es por tanto que este delito es tan antiguo como el mismo ser humano, lo que ha permitido que el *modus operandi* de este ilícito haya evolucionado a lo largo del tiempo, trayendo consigo historias peculiares e incluso con un final inesperado, como el atraco al tren Glasgow-Londres en 1963, donde quince personas robaron 2.6 millones de libras, hoy cerca de 46 millones de euros, y posteriormente fueron identificadas por sus huellas digitales en un tablero de Monopoly en el que jugaron mientras se escondían de la policía (5); o el asalto al banco francés Société Générale de Niza en 1976, donde Jacques Cassandri, en compañía de algunos otros delincuentes, excavaron un túnel dentro de la red de alcantarillado nicense, hasta el interior del banco, extrayendo 46 millones de francos, un aproximado de 30 millones de euros actualmente, según cuenta a

detalle el mismo Cassandri en un libro que publicó en 2010, al creer que su delito había prescrito (6); e incluso en nuestro país, que al estilo de la serie de Netflix “La Casa de Papel”, un grupo de cinco hombres lograron robar de las bóvedas de la Casa de Moneda de México un botín de mil 567 centenarios y algunos relojes, con un valor total mayor a 50 millones de pesos, esto ocurrido en la capital mexicana en 2019 (7).

Y aunque han existido muchos otros reconocidos ejemplos de este delito, también hay varios ejemplos de algunos otros delitos que culminan con una consecuencia muy similar; por ejemplo, tomar grandes cantidades de dinero que por ley y derecho no les corresponden. Si bien la ley no señala estos actos como robo, sí los tipifica bajo otros nombres (2). No obstante, estos actos no son cometidos por grupos delincuenciales armados, sino por servidores públicos en distintas dependencias gubernamentales.

Sin embargo, ninguno de estos ilícitos se compara con lo que se experimentó hace casi un siglo en la antigua Europa. En la década de 1920, el pionero criminalista Edmond Locard fue requerido por la Policía Francesa de Lyon para resolver una extraña serie de robos, los cuales tenían la peculiaridad de cometerse en casas y edificios, que en mayoría eran de gran altura, y tenían alguna ventana abierta, incluso aunque fuesen de pequeña apertura. Los objetos que eran hurtados por lo general eran piezas pequeñas y brillantes fabricadas de oro o plata; sin embargo, también se habían llevado objetos relucientes sin valor, como espejos rotos, cánicas y pedazos de metal. Incluso un señor de edad avanzada llegó a reportar que le habían robado una dentadura postiza de porcelana y metal en un brevísimo instante (8-11).

La sustracción de los objetos presentaba características tanto similares como extrañas. Entre dichas características destacan que, por lo general, se cometían a plena luz del día y en periodos muy breves de tiempo; es decir, en cuestión de un par de minutos. Además, en el momento en el que se cometía el robo, las casas se encontraban habitadas. Los propietarios llegaron a mencionar que no habían escuchado ningún ruido al momento en el que les hurtaron sus pertenencias y varios de ellos coincidían en que habían abandonado la habitación en la que estaban, volvían unos pocos minutos después y ya no hallaban

sus pertenencias. Era como si literalmente la tierra se hubiese comido sus aretes, sus anillos o sus monedas (8-11).

Aunado a ello, la policía no encontraba rastros de algún responsable de los robos cometidos, lo único que veía en común era una ventana abierta. Incluso se llegó a pensar que se trataba de algún tipo de iniciación delincuencia en el que los grupos de mayor experiencia les pedían a los nuevos integrantes, principalmente niños pequeños, que entraran a robar a casas y trajeran consigo algo de valor; no obstante, esto no podría ser posible en varios aspectos: en primer lugar, algunas habitaciones donde habían cometido el robo tenían sus ventanas a una gran altura y, o, de acceso difícil, por lo que entrar y salir de forma rápida resultaría imposible; en segundo lugar, un niño capaz de trepar y moverse hubiese hecho el ruido suficiente como para ser atrapado por el dueño, los vecinos e incluso la policía; además, desde la calle, llamaría la atención que un niño entrase a una ventana con ayuda de una escalera, lo que prontamente sería reportado ante las autoridades (9-11). Finalmente, esta idea fue descartada por la Policía Francesa.

Los robos se cometían cerca de una ventana, por lo que los agentes de policía se dedicaron a investigarlas. Por lo general, eran pequeñas, pero nunca hallaron pista alguna del responsable de la serie de hurtos. Hasta que un día encontraron una pequeña huella en el cristal de una ventana. El detective, asignado al caso por el mismo Locard, fotografió la huella y la llevó al laboratorio de la Policía Francesa para poder examinarla con más detalle. La huella se comparó con el registro criminal; pero, los resultados no fueron positivos, pues no se encontró ninguna correspondencia con los criminales registrados. Aunque se llegó a pensar que con la huella el caso estaría resuelto, en realidad el caso se volvía cada vez más inquietante, pues los investigadores no encontraban respuesta alguna ante esta serie de robos cometidos de manera tan peculiar, un *modus operandi* que nunca se había visto en Francia. La huella que se encontró en la ventana también se comparó con las huellas de los habitantes de dicha casa para evitar alguna confusión; sin embargo, el resultado también fue negativo (8-11).

No fue hasta que, por casualidad o destino, Locard leyó acerca del trabajo que realizaba Henry

Faulds en Japón e Inglaterra (11). En 1912, Faulds publicó el valor de las huellas para identificación humana e incluso realizó una de las primeras clasificaciones de huellas en la historia. El mismo Faulds, treinta años atrás, fue uno de los primeros en resolver un delito de robo en la capital nipona, donde un ladrón había dejado sus huellas impresas por el hollín sobre una pared blanca. La policía tokiota había detenido a un presunto responsable, pero Faulds solicitó comparar sus huellas, actividad frecuente en Faulds, con las halladas en la pared blanca y se percató que no correspondían entre sí. Algunos días después hallaron al verdadero responsable, compararon sus huellas y éstas correspondían a la perfección con las de la escena (12). Faulds fue reconocido en Japón y después en Inglaterra por sus estudios de la piel y las huellas, lo que lo llevó a hacer varias publicaciones sobre el tema. En una de ellas, específicamente aquella en la que mostraba una huella de la mano derecha de un gorila del zoológico de Londres (13), explicaba que los primates no humanos (PNHs), como los gorilas, orangutanes, chimpancés, macacos, lémures y otros, también poseían surcos en la piel al igual que los seres humanos.

Esto llevó a Locard a cambiar el giro de su investigación con los robos en Lyon: solicitó a la Policía Francesa reunir a todos los monos pequeños de la ciudad. Fue así como llegaron monos de circos y aquellos que estaban en la calle junto con sus amos organilleros. Uno a uno, se les tomaron las huellas y posteriormente se compararon con aquella que fue encontrada en la habitación donde habían cometido el ilícito. Finalmente, dieron con el responsable, un mono adiestrado por un organillero para recoger objetos pequeños y brillantes en los hogares de Lyon. La policía se dirigió al hogar del amo responsable y ahí encontraron los objetos hurtados por el pequeño mono. El organillero fue detenido por la Policía de Francia, mientras que el mono fue enviado al zoológico local (8-11).

Desarrollo

Desde hace más de trescientos años, varios personajes científicos han realizado estudios sobre la piel humana, en los que destacan Nehemiah Grew, quien en 1684 habló por primera vez de los poros y las líneas de la piel,

descritas como “innumerables pequeñas crestas, de igual tamaño y distancia, y en todas partes corriendo paralelas unas con otras” (14), su observación marcó el inicio de la época del estudio de la piel y las líneas que formaban sus crestas. Tres años más tarde estuvo Marcello Malpighi, quien observó la piel humana con el recién creado microscopio. Detalló los diferentes componentes de la piel y su característico “relieve”, el cual se debía a pequeñas estructuras uniformes en forma de “celdas”, las cuales ya había observado en otros tejidos animales y vegetales, (15); es decir, las células. Tuvieron que pasar casi cien años para que se volviera a hablar de la piel. Fue el anatomista alemán Johann C. Mayer quien en 1788 publicó un libro que poseía patrones detallados de las crestas de la piel. Además, mencionó que las crestas de la piel “nunca se duplican en dos personas. Aunque existan similitudes cercanas entre los individuos, las diferencias están marcadas por la disposición [de las crestas]” (16). Y poco más de tres décadas después, en 1823, J. Purkinje descubrió las glándulas sudoríparas y realizó la primera clasificación de huellas con 9 tipos: “*Transitive curve, central longitudinal stripe, oblique stripe, obliquial loop, almond shape, spiral, ellipse, circle, and duplicate whorl*” (17). No es difícil imaginar porqué el estudio de la piel se mantuvo durante tanto tiempo, solo hace falta mirar con cierto detenimiento el extremo de los dedos de cualquier persona y percatarse que tienen un patrón de líneas muy popular hoy en día: nada más y nada menos que las huellas dactilares.

Las huellas dactilares se componen de crestas y surcos que se forman en la piel por la organización de los poros (16). Para entender mejor esta idea, imagine una porción de tierra donde se cultivan girasoles y la persona que los cultiva debe plantarlos a cierta distancia. Se dedica a arar la tierra, formando líneas y crea pequeñas zanjias donde correrá el agua que nutrirá a sus plantas y es en las pequeñas protuberancias de tierra donde crecerán los girasoles. La distribución de los girasoles dependerá de la porción de tierra que sobresale de las zanjias. Algo muy parecido sucede con la piel. Los poros están separados entre sí y se encuentran organizados por las crestas de la piel, las cuales sobresalen de los surcos. Las crestas son la porción de piel que sobresale como una muy pequeña protuberancia, mientras que los surcos son la porción

de piel que se encuentra deprimida y que además delimitan a las crestas. Ambas forman un patrón de líneas en la piel; y si la piel corresponde a la que se encuentra en el extremo de los dedos, entonces al patrón se le conoce como huella dactilar (16,18).

Cabe hacer la observación que el término huella dactilar puede utilizarse también como sinónimo de huella digital, esto debido a que dactilar, del griego *daktilos* (δακτυλος); y digital, del latín *digitalis*, significa “relativo al dedo” en ambos casos. El uso de estos dos términos suele ser indistinto; sin embargo, dependerá del contexto de la oración para determinar si se refiere a los patrones que están intrínsecamente en la piel; a las marcas que quedan estampadas gracias al patrón de la piel y a un agente externo que actúa como tinta, también llamadas impresiones; o las marcas ocultas que necesitan ser reveladas con algún agente externo, como los polvos reveladores popularmente conocidos por su uso en las series de televisión (19).

Las huellas dactilares son indispensables para la vida cotidiana actual de cualquier persona (18), pues además de desbloquear dispositivos electrónicos con ellas, como los smartphones (teléfonos inteligentes), también permiten que, al tomar algún objeto, éste no resbale. Esto se debe a que el conjunto de crestas y surcos generan fricción entre la piel y los objetos, lo que permite que al tomarlos no resbalen fácilmente. Debido a ello, a estas líneas de la piel también se les conoce como crestas de fricción.

No obstante, este tipo de crestas no solamente las poseen los seres humanos, sino también los PNHs. ¿Por qué? Sencillo, gracias a la Teoría de la Evolución, se sabe que los seres humanos y los primates en general, comparten un ancestro común, por lo que existen aspectos similares entre todas las especies de primates, incluidas las crestas de fricción. Mientras que los humanos, con cierta facilidad, toman con la mano vasos de cristal y éstos no caen gracias a las crestas de fricción y al sudor que excretan, los PHNs las utilizan para trepar árboles, o bien, para pelar frutas y así poder comerlas (18-23), presentando características fisiológicas similares entre ambas especies. Sin embargo, cabe señalar que las crestas de fricción no solamente se encuentran en la región palmar de los primates (lo que corresponde a las manos), sino que también están en

la región plantar (lo que corresponde a los pies). Esta relación también evidenció la similitud que guardamos los seres humanos con los PNHs (13,17-22).

Los avances en la investigación científica sobre las crestas de fricción en PNHs se volvieron un tema popular entre las personas dedicadas a la biología a mediados del siglo XX, lo que llevó a Iwamoto (21) a crear una clasificación de huellas palmares de PNHs, específicamente para la especie *Macaca fuscata* [Figura 1]. Su clasificación se basa en la distribución de las crestas de fricción en siete regiones distintas de la palma de los macacos [Figura 2]. Las primeras cuatro (I, II, III y IV) corresponden a las áreas interdigitales; es decir, al espacio de la palma que une a un dedo con el otro. La región Th corresponde a la sección tenar. Las regiones Hd y Hp corresponden a la sección hipotenar; la d simboliza la sección distal y la p la sección proximal.

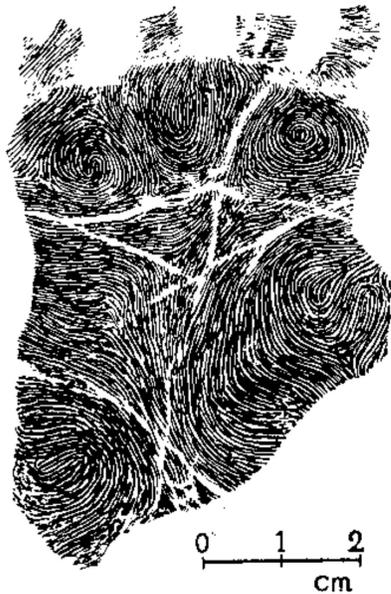


Figura 1. Ejemplo de huella palmar de *Macaca fuscata* (21). Obra original de Iwamoto, M.

Por otra parte, Pereira da Silva y Petit-Maire (24) estudiaron la simetría y asimetría de las crestas de fricción de varios PNHs. Utilizaron el término de simetría para referirse a la distribución de los patrones de las crestas de fricción de acuerdo con una línea base, tomando como referencia una escala de 0.0 a 1.0 de intensidad de patrón, en la que una escala alta (asimetría) está relacionada con la formación de

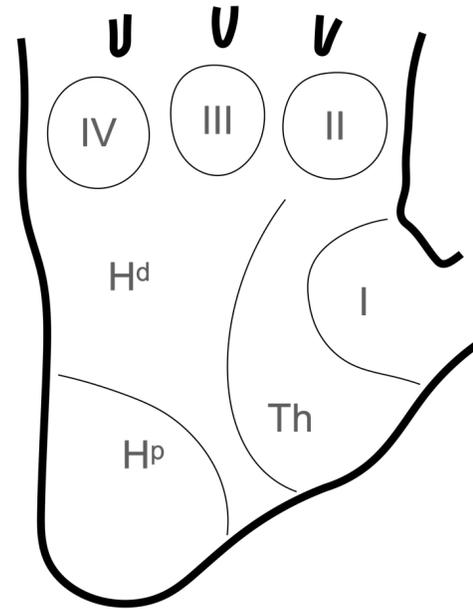


Figura 2. Distribución de regiones de crestas en huella palmar de *Macaca fuscata* (21). Inspirado en la obra de Iwamoto, M.

espirales y una escala baja (simetría) está relacionada con líneas rectas paralelas. Tomaron como base una clasificación que habían propuesto Midlo y Cummins anteriormente (22). Dicha escala indica que los seres humanos tienen asimetría en sus huellas digitales y lo que hallaron Pereira da Silva y Petit-Maire fue que los PNHs, tanto grandes como pequeños, también tienen asimetría en las regiones tenar e hipotenar de sus huellas palmares, lo que indicó en su momento que sus crestas de fricción no eran muy distintas a las de los seres humanos, pues presentan características anatómicas similares.

Esto significó la posibilidad de crear una propuesta de clasificación de huellas de PNHs, algo muy parecido a lo que se hace con las huellas de los seres humanos. Tanto Iwamoto como Pereira da Silva y Petit-Maire generaron una propuesta para hacer una clasificación de huellas de primates en general. Ambos se basaron en la distribución de las crestas de fricción, en los patrones que formaban e incluso una forma técnica para realizar su análisis (21,24). En ambos casos se utilizó la estadística descriptiva y comparativa para marcar una tendencia de patrones específicos que podrían utilizarse como base de un sistema de clasificación de huellas, tal como se hizo en humanos, siguiendo los pasos de Purkinje en 1823, que utilizó una base de nueve diferentes tipos de huellas (17); o

Galton en 1892, quien escribió el primer libro sobre el estudio de las huellas dactilares e hizo una clasificación de 30 tipos de huellas, agrupadas en siete tipos de arcos, doce tipos de presillas y once tipos de verticilos (25); o Juan Vucetich, el científico nacionalizado argentino, que en 1904 propuso una clasificación de cuatro huellas digitales: arco, presilla interna, presilla externa y verticilo (26); o incluso el mismo Henry Faulds que en 1923 propuso una clasificación de huellas con 26 letras (13).

Aunque actualmente no se conocen sistemas de clasificación de huellas palmares para PNHs, lo cierto es que éstos cuentan con los cuatro criterios completos para que sus crestas de fricción se puedan convertir en un sistema biométrico (refiriéndose a las características biológicas medibles que se pueden utilizar para el reconocimiento automatizado), esto debido a que cumplen con los criterios de universalidad, es decir, que cada PNH cuenta con crestas de fricción en su región palmar; además poseen el criterio de diferencia, es decir, que cada PNH tiene huellas distintas entre sí; con el de permanencia, lo que significa que las crestas de fricción no cambian a lo largo de la vida del PNH; y finalmente cuentan con la colectividad, lo que significa que esas huellas se pueden medir de forma cuantitativa, haciendo más preciso su análisis con ayuda de dispositivos específicos para este fin; por ejemplo, los escáneres que se utilizan para realizar el registro de una huella. Además, tiene un criterio extra de clasificabilidad, es decir, que se pueden agrupar las huellas por su forma. Todas estas características también las tienen los humanos, por lo que crear un sistema de clasificación de huellas de PNHs no resulta en algo imposible (27-29).

Esta información pareciese no tener importancia en el ámbito legal, sino hasta que aparecen casos como en el que se vio inmerso Edmond Locard en Lyon, donde la única pista hallada en el lugar de intervención pericial es una huella digital pequeña hallada en el cristal de una ventana, junto con un historial de robos extraños. Y aunque se pueda pensar que este pudiese ser un caso ficticio, lo cierto es que hoy en día existen reportes de robo en los que algunos monos son partícipes, amaestrados por sus dueños quienes les enseñan a robar. Tal es el caso reciente, de este año, en el que tres sujetos en Nueva Delhi, India, se dedicaban

a robar en compañía de monos. Una víctima relató que los ladrones la rodearon y que los monos le despojaron de sus pertenencias seis mil rupias, aproximadamente mil seiscientos pesos mexicanos. Otra víctima señaló que los monos se subieron al mototaxi en el que se transportaba y le quitaron el dinero que llevaba en su cartera. Solamente fueron detenidos dos sujetos y los monos fueron dispuestos ante un centro de rescate de animales (30). Por otra parte, existen algunos reportes de monos “rehabilitados” después de haber sido adiestrados para robar en Bogotá, Colombia. Se menciona que los monos aprenden por imitación de una forma muy sencilla, por lo que cometer los robos se volvía tarea fácil después de un tiempo corto de adiestramiento. Además, expresan que uno de los monos rehabilitados, “Manco”, que tardó varios años en mejorar su conducta, lograba robar sin que sus víctimas se percataran del ilícito. Su rehabilitación lo llevó a estar aislado por meses; sin embargo, observaron que cuando lo intentaron ingresar a una comunidad de monos mayores, éstos lo herían; pero con una comunidad con monos menores, “Manco” se volvía su líder y les enseñaba a robar. Finalmente, la veterinaria a cargo de “Manco” mencionó que él era un ejemplo de lo que “no se podía ni se debía hacer con la fauna” (31).

Y por si no fuera poco, en Bali, Indonesia, existen indicios de monos que han “aprendido” a robarle a los humanos y después pedir un “rescate” de sus pertenencias a cambio de un trueque, en el que con regularidad involucran comida. También se observó que aquellos monos que presentaban dicha conducta eran machos de edad adulta o adulta joven y que su reacción está estrechamente relacionada con una especie de macaco balinés, *Macaca fascicularis*. Además, se señala la importancia de la interacción de los monos con los seres humanos, especialmente turistas, pues con ellos, se incrementa la reacción de robo en los monos de dicha especie (32).

No obstante, también se han reportado casos poco usuales en los que los monos realizan algún tipo de hurto por su cuenta. Tal es el caso de un mono en Johor, Malasia, que ingresó a la habitación de un joven y se llevó su teléfono celular. El mono entró por la ventana y fue observado mientras se llevaba el celular del joven malasio al huir hacia la naturaleza. Después de un tiempo, el joven buscó su teléfono mediante una

aplicación de localización y rastreo del dispositivo. Para su sorpresa, el mono se había tomado fotografías con el smartphone, para después abandonarlo a la orilla de la selva (33).

Conclusión

La evolución de los PNHs en comparación con los seres humanos ha tenido grandes similitudes en el aspecto anatómico y fisiológico de las crestas de fricción de la piel, a tal grado de que se presentaron distintas propuestas de sistemas de clasificación de huellas, digitales para los humanos y palmares para los PNHs. Esto hace evidente que la semejanza entre ambos sea más amplia, como una forma de identificación nueva para los PNHs y ya conocida para los humanos. Hoy en día, en Estados Unidos, se utiliza un sistema de clasificación propio con ocho tipos distintos de huellas (34), mientras que en México se utiliza una versión modificada del sistema de clasificación de Vucetich (35). No obstante, en el futuro quizá se utilicen sistemas de clasificación de huellas para PNHs relacionados con el mundo criminal.

Además, también se demostró que ha existido un fuerte cambio en la conducta de algunos PNHs, que los orilla a despojar de sus pertenencias a los humanos, y parece que este cambio de conducta está relacionado con la interacción entre seres humanos y PNHs (32). La interacción entre ambas especies ha llevado a algunos macacos a imitar comportamientos humanos, que en gran mayoría no son vistos con buenos ojos por la sociedad, pues hurtan y piden recompensas. De seguir así, no estaremos lejos de ver centros de rehabilitación para monos que han aprendido este tipo de conductas (31).

Esto nos lleva a reflexionar sobre el impacto ambiental que tenemos los seres humanos con los animales que nos rodean, no solamente con los PNHs, sino con el resto de la fauna en general; así como los retos a los que se enfrenta el derecho penal, en donde la evidencia señala a un mono como autor de un delito de robo; por ejemplo, el caso de Lyon resuelto por Locard. De ser así, el peso legal recaería en la persona que adiestró al mono para el hurto; pero ¿qué sucede con aquellos que lo han aprendido por su cuenta? No hay

que olvidar que dichos animales están aprendiendo por sí mismos y que logran llevarse objetos sin la necesidad de un amo que los haya adiestrado (33). Más que una situación divertida y extraña, es una señal de alarma para que, como seres humanos, nos demos cuenta del impacto que generamos en la fauna que nos rodea, con resultados de humanización y al parecer con influencias negativas y sus respectivas consecuencias.

Bibliografía

1. Amuchategui, I. G. (2012). *Derecho penal* (Cuarta edición). Oxford University Press.
2. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1931). *Código Penal Federal* (Última reforma en el DOF: 01 de junio de 2021).
3. Díez, L. O. (1999). La propiedad privada, el capitalismo y las teorías marxistas. *Cuadernos de Estudios Empresariales*, (9), 137-172.
4. López-Betancourt, E. (2021, 8 marzo). Breve historia del delito de robo. *La Jornada Guerrero*. Recuperado de: <https://bit.ly/3fJG-mWJ>
5. Amiguet, T. (2019, 16 abril). El robo del siglo: asalto al tren de Glasgow. *La Vanguardia*. Recuperado de: <https://bit.ly/3lJ9VLM>
6. Ayuso, S. (2018, 14 febrero). El cerebro del robo del siglo en Francia confiesa su delito al creer que había prescrito. *El País*. Recuperado de: <https://bit.ly/3yEWFm8>
7. ¿El robo del siglo? Así fue el asalto a la tienda de Casa de Moneda de México. (2019, 8 agosto). *El Universal*. Recuperado de: <https://bit.ly/3yu62xU>
8. Baquero, A. (2014). El Sherlock de carne y hueso. *Historia y Vida*. 555(72-75)
9. Mulet, J. M. (2016). *La ciencia en la sombra: Los crímenes más célebres de la historia, las series y el cine, a la luz de la ciencia forense* (Imago Mundi). Ediciones Destino.
10. Vila, J. (2015). Edmond Locard, uno de los pioneros de la criminológica moderna.
11. Wagner, E. J. (2009). *La Ciencia De Sherlock Holmes. Los secretos forenses de los casos más famosos de la historia*. Planeta.
12. Thorwald, J. (1966). *El siglo de la investigación criminal* (Das Jahrhundert der Detektive). Labor.
13. Faulds, H. (1923). *A Manual of Practical Dactylography*. Van Haren Publishing.
14. Grew, N. (1984). The description and use of the pores in the skin of the hands and feet, by the learned and ingenious Nehemiah Grew, MD Fellow of the College of physicians and of the Royal Society. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 14(159), 566-567. <https://doi.org/10.1098/rstl.1684.0028>
15. Malpighi, M. (1967). *Anatome plantarum*.
16. National Criminal Justice Reference Serv. (2014). *The Fingerprint Sourcebook*. Createspace Independent Publishing Platform.
17. Cummins, H., & Kennedy, R. W. (1940). Purkinje's observations (1823) on finger prints and other skin features. *Journal of Criminal Law and Criminology* (1931-1951), 31(3), 343-356. <https://doi.org/10.2307/1137436>

18. Yum, S. M., Baek, I. K., Hong, D., Kim, J., Jung, K., Kim, S., Eom, K., Jang, J., Kim, S., Sattorov, M., Lee, M. G., Kim, S., Adams, M. J., & Park, G. S. (2020). Fingerprint ridges allow primates to regulate grip. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(50), 31665–31673. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001055117>
19. Antón Barberá, F. (2017). Reminiscencias lofoscópicas, con especial alusión al correcto uso del lenguaje técnico. *Gaceta internacional de ciencias forenses*, (24), 34-64.
20. Furuya, Y. (1962). Studies on the Dermatoglyphics of the Macaques. II. *Proceedings of the Japan Academy*, 38(7), 380–382. <https://doi.org/10.2183/pjab1945.38.380>
21. Iwamoto, M. (1964). Morphological studies of *Macaca fuscata* I. Dermatoglyphics on the Hand. *Primates* 5, 53–73. <https://doi.org/10.1007/BF01758275>
22. Midlo, C., & Cummins, H. (1942). Palmar and plantar dermatoglyphics in primates (No. 20). *Wistar Institute of Anatomy and Biology*.
23. Cauble, R. G., & Mavalwala, J. (1973). The palmar dermatoglyphics of *Macaca fascicularis*: A comparison with *Macaca fuscata*. *Journal of Human Evolution*, 2(2), 137–152. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(73\)90061-4](https://doi.org/10.1016/0047-2484(73)90061-4)
24. Pereira Da Silva, M., & Petit-Maire, N. (1974). Symmetry and asymmetry in fingerprints of three genera of South American monkeys in relation to morphological evolutionary problems. *Journal of Human Evolution*, 3(4), 283–289. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(74\)90022-0](https://doi.org/10.1016/0047-2484(74)90022-0)
25. Galton, F. (1892). *Finger prints*. Macmillan and Company.
26. Vucetich, J. (1904). *Dactiloscopía comparada, el nuevo sistema argentino*. Peuser.
27. Gowland, R., & Thompson, T. (2013). *Human identity and identification*. Cambridge University Press.
28. Jain, A. K., & Ross, A. (2015). Bridging the gap: from biometrics to forensics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1674), 20140254. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0254>
29. Jain, A. K., Ross, A., & Prabhakar, S. (2004). An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, 14(1), 4-20. <https://doi.org/10.1109/TCS-VT.2003.818349>
30. AFP. (2021, 10 abril). Detienen a dos hombres por utilizar a monos para robar en las calles; así operaban. Milenio. Recuperado de: <https://bit.ly/3ynKQcP>
31. EFE. (2012, 16 febrero). Rehabilitados monos adiestrados para robar. ABC Noticias. Recuperado de: <https://bit.ly/3ySdKvy>
32. Brotcorne, F., Giraud, G., Gunst, N., Fuentes, A., Wandia, I. N., Beudels-Jamar, R. C., Poncin, P., Huynen, M. C., & Leca, J. B. (2017). Intergroup variation in robbing and bartering by long-tailed macaques at Uluwatu Temple (Bali, Indonesia). *Primates*, 58(4), 505–516. <https://doi.org/10.1007/s10329-017-0611-1>
33. AP. (2020, 16 septiembre). Mono roba celular y se toma 'selfies' y videos en Malasia. La Jornada. Recuperado de: <https://bit.ly/3jhUBmz>
34. Romero, G. E. C., Hernández, M. D. G. G., Martín, H. G., & Valdez, N. M. (2005). Aplicación del NFIS (Nist Fingerprint Image Software) para la extracción de características de huellas dactilares. *Acta Universitaria*, 15(1), 29-35. <https://doi.org/10.15174/au.2005.222>
35. Arriaga, S. T. (2014). *El estudio científico de la Dactiloscopia*. LI-MUSA.

Guías para la valoración de la prueba científica: una propuesta desde la ciencia para el derecho

Zoraida García Castillo¹, Fernanda López Escobedo¹, Chantal Loyzance¹, Anahy Rodríguez González¹, Alexa Villavicencio Queijeiro^{1*}

Adscripción:

¹Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

* alexa.villavicencio@cienciaforense.facmed.unam.mx

Datos del artículo:

Cita: García Castillo Z, López Escobedo F, Loyzance C, Rodríguez González A, Villavicencio Queijeiro A. 2022. Guías para la valoración de la prueba científica: una propuesta desde la ciencia para el derecho. Artículo de difusión / divulgación. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(1): 78-81 pp.

Editor: Mirsha Quinto Sánchez.

Recibido: 11 noviembre 2021.

Aceptado: 17 febrero 2022.

Publicado: 28 abril 2022.

Resumen

La adopción del sistema de justicia penal acusatorio en México ha significado una serie de cambios y retos en el mundo jurídico, entre ellos el de la valoración de la prueba pericial. En este trabajo se aborda el reto que esto representa para los juzgadores en la apreciación de la prueba en particular, dado que en México no se cuenta con lineamientos generales para la valoración de la prueba pericial, teniendo en consideración que su naturaleza es técnica o científica, conocimiento que escapa al del juzgador, quien debe pronunciarse sobre ella. Por ello, la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la UNAM se ha propuesto el desarrollo de guías de valoración de la prueba pericial en diferentes áreas forenses, tanto para la admisión como para su apreciación de fondo. Dichas guías pretenden ser un baremo para poder acercarse a cada área y estar en posibilidad de entenderla para su apreciación jurídica, que tanta trascendencia tiene en el pronunciamiento de las resoluciones.

Palabras clave: valoración de la prueba pericial, sistema penal acusatorio, guía para la valoración judicial

Abstract

The adoption of the accusatory criminal justice system in Mexico has meant a series of changes and challenges in the legal world, including the assessment of evidence. This paper describes the challenge that this represents for the judges in the appreciation of scientific evidence, given that in Mexico there are no general guidelines for the evaluation of the expert evidence, considering that its nature is technical or scientific -knowledge that escapes the judge- who must rule on it. For this reason, the Forensic Undergraduate Program in Forensic Science which is part of the School of Medicine of the National Autonomous University of Mexico has proposed the development of evaluation guides for expert evidence in different forensic areas, both for the admission and for its substantive appreciation. These guides are intended to be a scale that enable judges to approach each area and to tackle its legal appreciation, which is so important in the pronouncement of resolutions.

Key words: Assessment of expert evidence, Accusatory Criminal System, Guides for judicial assessment

En México, la introducción del sistema penal acusatorio ha sido uno de los desarrollos jurídico-culturales más profundos de nuestro tiempo al introducir principios que propician una impartición de justicia más democrática y clara. Con su introducción se buscó la continuidad y concentración de los actos en el juicio, la inmediación o participación directa de todos los actores, y la exigencia de contradicción de argumentos y pruebas para su debida validez (Quintero, 2010).

La adopción de este sistema ha implicado diversos retos para la esfera jurídica mexicana. Uno de ellos, el que se pretende abordar en este texto, es el de la valoración de la prueba por parte del juzgador, un tema que se ha dejado de lado en la enseñanza del Derecho y en la formación de los juristas en el mundo iberoamericano. La razón probablemente radica en haber conservado la apreciación de la prueba que se hacía en el anterior sistema mixto, donde la legislación atribuía un valor predeterminado a algunas probanzas y dejaba una puerta abierta de libertad al juzgador para relacionarlas entre sí, para llegar a una conclusión. Así, los avances en el estudio de la valoración de la prueba se fueron rezagando al concentrar el esfuerzo en la implementación del sistema procesal en su conjunto, dificultando el entendimiento del lenguaje científico y técnico por parte de los órganos de administración y procuración de justicia.

En el sistema de justicia penal acusatorio, la prueba pericial se desahoga como un testimonio experto. Es así como la valoración de la prueba pasa por una primera etapa de apreciación de la prueba en particular y, hecho esto, el juez correlaciona las pruebas entre sí para llegar a una conclusión, dando pauta a la segunda etapa que constituye la valoración integral, a través de explicaciones pausibles sobre los hechos motivo de controversia y análisis judicial.

En lo que respecta a la primera etapa -la de la apreciación de la prueba en particular- ésta tiene características muy específicas. Para distinguirla de todo el ejercicio de apreciación del juez la denominaremos como etapa de ponderación de la prueba en particular. En esta, su entendimiento, alcances, integración, confiabilidad, pertinencia y grados de certeza se encuentran fuera del alcance del conocimiento del jurista y requieren de una persona con erudición o pericia científica para comprenderla.

Teniendo en cuenta que el juez necesita de plena libertad para la valoración de la prueba, ¿cómo hacer para no vulnerar tal libertad sin la influencia determinante de la opinión del científico o la científica, respecto de la cual la persona juzgadora no cuenta con herramientas para cuestionarla?

La Suprema Corte de Justicia de la Nación en México ha dictado una tesis aislada en la que resolvió lo siguiente: "...para que un órgano jurisdiccional pueda apoyarse válidamente en una opinión de algún experto en una rama de la ciencia, es necesario que esa opinión tenga las siguientes características: a) Que la evidencia científica sea relevante para el caso concreto en estudio, es decir, que a través de la misma pueda efectivamente conocerse la verdad de los hechos sujetos a prueba, y b) que la evidencia científica sea fidedigna, esto es, que se haya arribado a ella a través del método científico, para lo cual se requiere, generalmente, que la teoría o técnica científica de que se trate haya sido sujeta a pruebas empíricas, o sea, que la misma haya sido sujeta a pruebas de refutabilidad; haya sido sujeta a la opinión, revisión y aceptación de la comunidad científica; se conozca su margen de error potencial, y existan estándares que controlen su aplicación. Si la prueba científica cumple con estas características, el juzgador puede válidamente tomarla en cuenta al momento de dictar su resolución." (Contradicción de tesis 154/2005-PS).

Lo anterior implica que, con independencia de la relevancia que tenga la prueba para resolver el caso, la evidencia de científicidad tiene que ser fidedigna, lo que significa que haya estado sujeta a pruebas de refutabilidad, que haya sido revisada y aceptada por la comunidad científica y que se conozcan los márgenes de error que presenta. Eso es lo que conforme a la tesis aislada en cita, debería guiar al juzgador para valorar la prueba científica en relación con las demás probanzas, pero lo sigue dejando en la incertidumbre de qué es lo confiable y fidedigno.

Los criterios señalados por la Suprema Corte mexicana son similares a los requisitos de científicidad que debe tener la prueba, según definió la Corte Suprema de los Estados Unidos en el caso *Daubert* en 1993. En este caso (*Daubert v. Merrel Dow Pharmaceuticals, Inc.* 509 US.579), dos menores y sus padres alegaron que los niños sufrieron serios defectos

de nacimiento ocasionados por la ingestión prenatal del medicamento Bendectin. La Corte de Distrito negó la petición basada en las buenas credenciales de los expertos y en una extensa revisión de literatura científica que concluía que el uso del medicamento no mostraba riesgo en defectos de nacimiento. Los demandantes presentaron la opinión contraria de otros expertos también acreditados, pero que exponían conclusiones contrarias basadas en análisis inéditos. La Corte de Apelación negó la admisión de su demanda por inconducente, bajo la regla de que la opinión experta basada en una técnica científica no es admisible a menos que la técnica esté generalmente aceptada en la comunidad científica.

Como argumento, el juez Blackmun indicó que las evidencias debían cumplir con lo siguiente: a) Controlabilidad y falsificabilidad de la teoría científica en que se funda la prueba. b) Determinación de la probabilidad de error relativa a la técnica empleada. c) Existencia de un control ejercitado por otros expertos. d) Existencia de un consenso general en la comunidad científica a que se refiere.

Lo anterior implica que no todos los resultados de la prueba pericial deben ser considerados por la persona que juzga como determinantes, sino que en él o ella está valorarlos mediante el sometimiento de la prueba a un test como el planteado anteriormente. Es decir uno en el que la naturaleza de la prueba tenga una acreditación dentro de la comunidad científica, sus métodos sean controlables y sus conclusiones guarden un alto nivel de probabilidad de acercamiento a la realidad.

No obstante, estos lineamientos generales de apreciación por parte de la persona juzgadora de la prueba pericial no son suficientes para que él o ella pueda valorar con mayor acercamiento y objetividad respecto de los resultados científicos y/o técnicos que se le presenten.

La pregunta es: ¿cómo juzgar racionalmente la fiabilidad y alcances de la prueba pericial?. Nuestro planteamiento es que ello debe ocurrir precisamente bajo los parámetros que la propia comunidad científica reconoce y que son inherentes a la refutabilidad de sus resultados, lo que enriquece el proceso de valoración de los órganos jurisdiccionales, no para dar un valor per se (por tratarse de conocimiento científico o

técnico), sino para contar con elementos que sustenten las inferencias que se concatenan en la elaboración de los argumentos jurídicos plasmados en una sentencia al explicar la hipótesis de mayor probabilidad en el caso concreto. En México no se cuenta con lineamientos de tal naturaleza y ésta es precisamente el área que se debe trabajar.

La Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la UNAM no es ajena a esta problemática, por lo que se ha planteado la necesidad de desarrollar guías en los diferentes campos forenses que incluyan aquellos criterios que deben ser considerados para la valoración de la prueba, así como los errores que se pueden presentar en la prueba pericial y que pueden ser tomados en cuenta para su valoración. Además, se incluyen los criterios mínimos, es decir, los grados de tolerancia permisible asociados a cada etapa por la que transita la prueba y que se reflejan en fallas o circunstancias frecuentes. Así, se han elaborado guías de cada una de las áreas forenses que se trabajan en la Licenciatura en Ciencia Forense con los apartados que se explican a continuación.

Uno de presupuestos mínimos, tanto para la prueba como para el indicio, desde el punto de vista de la ciencia forense. En ese primer apartado no se establecen criterios completamente jurídicos pero sí se busca reflejar la indivisible relación entre el Derecho y la Ciencia. Otro apartado que desarrolla elementos de recolección, procesamiento y análisis del indicio para cada área científica y técnica. Un glosario general y específico con términos propios de cada área forense y apéndices con conceptos, ejemplos y aclaraciones pertinentes que complementan los criterios descritos a lo largo de la guía, además de un glosario básico como complemento con definiciones estandarizadas y aceptadas dentro de la comunidad de expertos de cada área.

Las guías tienen como sustento dos vertientes principales: a nivel nacional se apoyan en guías, manuales, acuerdos y protocolos, que regulan el actuar técnico-científico de las entidades de procuración de justicia; a nivel internacional, se refuerza con manuales y guías publicados por grupos de expertos en cada campo forense.

A través del recorrido general por los apartados que conforman el cuerpo de las guías para la valoración

de la prueba científica, descrito previamente, resulta evidente que éstas buscan enriquecer el análisis de las y los juristas, mediante la aportación de bagaje del conocimiento científico especializado en cada área forense con las que cuenta la Licenciatura en Ciencia Forense. Así, la persona juzgadora contará con un baremo, al menos, por cada tipo de prueba, para poder acercarse a ella y estar en posibilidad de entenderla para su apreciación jurídica, que tanta trascendencia tiene en el pronunciamiento de las resoluciones.

Las y los juristas han tratado de establecer estándares jurídicos de valoración (entiéndase aquí ponderación) de la prueba pericial, con base en la determinación de si la persona experta (perito) se encuentra calificada para realizarla, si su teoría se encuentra aceptada por su comunidad científica, si existen medios para controlar los resultados y si se pueden determinar los márgenes de error en las conclusiones. Esa es una construcción que han hecho los juristas para los juristas.

Nos proponemos, a través de las guías, realizar algunas construcciones desde los científicos para los juristas, explicándoles en cada área, los elementos a tener en cuenta para la ponderación de la prueba de que se trate; esperando de esta forma tender un puente sólido que comunique al Derecho con las ciencias y técnicas forenses que son indispensables para la resolución de los conflictos procesales.

Bibliografía

1. Conocimientos Científicos. Características que deben tener para que puedan ser tomados en cuenta por el juzgador al momento de emitir su fallo. Contradicción de tesis 154/2005-PS. Primera Sala. Tesis Aislada. Fuente: Semanario Judicial de la Federación y su Gaceta. XXV, Marzo de 2007, Materia(s): Común. Tesis: 1a. CLXXXVII/2006, Página: 258
2. Caso Daubert v. Merrel Dow Pharmaceuticals, Inc. 509 US.579 (1993), <http://caselaw.lp.findlaw.com/scripts/getcase.pl?court=US&vol=509&invol=579>
3. Quintero, María Eloísa y Polaino-Orts, Miguel. Principios del Sistema Acusatorio. Una visión sistémica. Ara Editores, Perú, 2010.
4. Castillo, Z., López-Olvera, C., López-Escobedo, F., Villavicencio-Queijeiro, A., Loyzance, C., Castillo-Alanís, A., & Suzuri-Hernández, L. (2020). Elementos técnicos y racionales para la valoración de la confiabilidad de la prueba científica: referencia a tres áreas de la Ciencia Forense. *Isonomía - Revista de Teoría y Filosofía del Derecho*, (53), 31-69. <https://doi.org/10.5347/isonomia.v0i53.302>
5. Villavicencio-Queijeiro, A., Loyzance, C., Castillo, Suzuri-Hernández, L., Castillo-Alanís, A., López-Olvera, C. & López-Escobedo, F. (2021). Development of an instrument for assessing the quality of forensic evidence and expert testimony from three feature comparison methods: DNA, voice, and fingerprint analysis. *Journal of Forensic Sciences*. En prensa.