



# REVISTA DIGITAL



# DE CIENCIA FORENSE

RECIF

Año 2 No. 3

**Rector**

Dr. Enrique Graue Wiechers

**Directora**

Dra. Zoraida García Castillo

**Secretaria General**

Dra. Ana María Sosa Reyes

**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. 2, No. 3, octubre-marzo 2023. 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](mailto: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 octubre de 2023.

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.

Diseño de portada: Pamela López Salazar.

Fotografía de portada: Maren Deni Contreras Fernández.

Diseño de logo de la revista: Emir Romero Borbolla.

# ÍNDICE

a Editorial

## Artículos de investigación

1 Estándares éticos y científicos para evaluaciones forenses a mujeres víctimas de violencia de género  
*Victor Alejandro Nodal Silva*

17 Comparación analítica de cuatro modelos para reconstrucción de trayectorias balísticas  
*Vicente Torres Zúñiga, José Guadalupe Bañuelos Muñetón*

## Artículos de investigación realizados por estudiantes

36 Reparación integral para niñas, niños y adolescentes como víctimas indirectas del delito de feminicidio en la CDMX  
*Jamie Carbonell Zamora, Anahy Rodríguez González*

50 La importancia del análisis multidisciplinario en la investigación de feminicidios en México  
*Diego Armando Cuautle Rojas, Ana Pamela Romero Guerra*

## Artículos de divulgación/difusión

67 Perspectiva general de la genética y la genómica forense en México  
*José Alonso Aguilar Velázquez*

# EDITORIAL

## Año 2, Número 3

La ciencia abierta en Latinoamérica tiene un enorme desarrollo y tradición; plataformas como SciELO, RedALyC o LATINDEX son evidencia de su madurez y estado actual, por citar algunos ejemplos. La Biblioteca Científica Electrónica en Línea (SciELO) aglutina a 404 revistas, con 28,450 artículos publicados (1) y funciona con regularidad desde junio de 1998. También, el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX), cuenta con 16 mil revistas y opera desde 1995 (2). De igual forma, la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc) cuenta con 1304 revistas, más de 600 mil artículos publicados y opera desde 2003 (3).

Estos sistemas han permitido la mejora en la calidad de publicación de revistas científicas, tanto nacional como regional y han permitido la consolidación de la indización, visibilidad, interoperabilidad, producción editorial y preservación de todo el conocimiento científico producido en Latinoamérica; además de cooperación activa de numerosos países, a través de sus universidades, con la inversión de presupuesto público en su construcción. Brasil es el país con mayor cantidad de revistas en estos sistemas, seguido por México y Colombia (4); sin embargo, la cobertura de revistas por país es aún muy dispar (4), lo que es un desafío para la integración en Latinoamérica y da cuenta del rezago en la materia de ciencias abierta para algunos países.

Los sistemas de publicación de acceso abierto han sido criticados por Jeffrey Beall, considerándolos como “favelas” (5), nada controversial para Beall, quien saltó a la fama por su Lista Beall sobre “publicaciones predatoras de acceso abierto”. Si bien, en una revisión sistemática se buscó identificar posibles revistas predatoras o pseudo-journals (que publican artículos de investigación sin aplicar los estándares de calidad mínimos), de una lista inicial de 1528 revistas, solo 93 cumplieron los criterios de inclusión y de estas, solo tres cubrieron el criterio de ajustarse a un modelo basado en evidencia (6). Es importante aclarar que, de forma facciosa, las revistas depredadoras han sido mezcladas con las revistas de acceso abierto (7), lo que es reprochable ya cuentan con características que las distinguen sustancialmente. Si bien, una revista puede no cumplir un criterio o estándar general establecido por una persona, catalogarla de forma despectiva como “favela” es prejuicioso. Por el contrario, muchos de las revistas o sistemas como los arriba mencionados deben considerarse como medio de desarrollo de la publicación de la ciencia (5). La generalización de los defectos de algunas revistas de acceso abierto a todo el movimiento ha llevado a prejuicios injustificados entre la comunidad académica (7). Además, de forma recientemente, se evidenció que la Lista Beall tiene sesgos basados en una comparación prejuiciosa y limitativa (7, 5).

La ciencia abierta es una herramienta para corregir la asimetría en la hegemonía de las publicaciones científicas cerradas, respecto de los presupuestos científicos en países latinoamericanos y es una forma de autogestión del conocimiento. La ReCiF es el mejor ejemplo de un proyecto alternativo de revista científica de acceso abierto, que se encuentra en proceso de consolidación gracias a la participación de profesores, revisores, editores, autores, diseñadores, informáticos, entre otros, que conforman múltiples piezas de la calidad de la revista. Por ello, defendemos la ciencia abierta como una pieza clave para el desarrollo y difusión de la investigación en nuestro país y en la región.

Así, el comité editorial de la ReCiF se congratula en presentar el tercer número del segundo año. Este número, está integrado por cuatro comunicaciones. Se incluyen tres artículos de investigación, donde sin integrar una estrategia editorial específica, confluyen en el tema de violencia de género. Un artículo científico sobre el tema y dos más elaborados por estudiantes, ambos científicos

forenses de la ENaCiF; en ellos presentan resultados de sus tesis de licenciatura. Así mismo, se presenta un artículo de difusión / divulgación de las ciencias forenses.

De forma específica, dentro de las comunicaciones de Artículos de Investigación se presenta el artículo "Estándares éticos y científicos para evaluaciones forenses a mujeres víctimas de violencia de género", manuscrito que trata sobre aspectos relevantes de la práctica pericial para con las evaluaciones forenses realizadas en casos de mujeres víctimas de violencia de género, sobre todo en lo que se refiere a estándares para asegurar la debida diligencia, que es un tema recurrente en los casos que abordan estas problemáticas. También, se presenta el texto "Comparación analítica de cuatro modelos para reconstrucción de trayectorias balísticas" donde se exploran modelos teóricos y mediciones para sustentar el uso de un modelo de trayectoria recta para análisis de proyectiles por arma de fuego, así como algunos recursos de interés para el campo educativo de la física y balística forenses.

En los Artículos de Investigación Realizados por Estudiantes, se presenta el artículo "Reparación integral para niñas, niños y adolescentes como víctimas indirectas del delito de feminicidio en la CDMX" que trata un tema de suma relevancia para la protección de la niñez y la adolescencia como víctimas indirectas del feminicidio, y a quienes se debe procurar la reparación integral de manera eficiente y expedita. El artículo es una propuesta a un abordaje integral desde una perspectiva multi e interdisciplinar, donde el perfil del científico forense tiene un papel de relevancia.

También, se presenta el Artículo de Investigación realizados por estudiantes, "La importancia del análisis multidisciplinario en la investigación de feminicidios en México", donde se establece un criterio mínimo e indispensable sobre las solicitudes de prueba que deben ocurrir en un caso de feminicidio, al considerarse este último como un delito multidimensional. Se analizan las áreas de intervención como la psicología, medicina, antropología, criminalística, entre otras. Siempre en una perspectiva de análisis holístico.

Para cerrar el Número, se presenta un interesante artículo de difusión/divulgación titulado "Perspectiva general de la genética y la genómica forense en México" donde se aborda una revisión a la actualidad de la aplicación de la genética y genómica en el campo forense en nuestro país. Se analiza, la existencia de pocos estudios sobre el campo y el contraste con la necesidad de aplicación de estas pruebas, dado la magnitud y complejidad de la crisis forense que acontece en México. Es un artículo que apuesta a la validación y evaluación del rendimiento de estas tecnologías en poblaciones mexicanas.

Finalmente, queremos elevar la invitación a los diversos actores forenses: académicos, peritos, investigadores, profesores, consultores y expertos del sector privado, profesores en retiro, alumnos de grado y posgrado, a enviar sus manuscritos. De igual forma, recordamos a todos los ponentes del VI Congreso de Ciencia Forense a enviar sus trabajos para publicación en la ReCiF.

Pueden enviar cualquier carta al editor a la siguiente dirección de e-mail: [recif@enacif.unam.mx](mailto:recif@enacif.unam.mx)

Les invitamos a colaborar con este espacio, para hacer de la ciencia pública una realidad.

**Mirsha Quinto-Sánchez**

*Editor de la Revista Digital de Ciencia Forense (ReCiF)*

*Escuela Nacional de Ciencias Forenses, UNAM.*

## Citas

1. <https://analytics.scielo.org/>
2. <https://www.latindex.org/latindex/>
3. <https://www.redalyc.org/>
4. Miguel, Sandra. Revistas y producción científica de América Latina y el Caribe: su visibilidad en SciELO, RedALyC y SCOPUS. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 2011, vol. 34, no. 2, p. 187-199.
5. Juan Pablo Alperin, Dominique Babini, Leslie Chan, Eve Gray, Jean-Claude Guédon, Heather Joseph, Eloy Rodrigues, Kathleen Shearer, Hebe Vessuri, Open Access in Latin America: a Paragon for the Rest of the World, *The Winnower* 2:e143982.27959, 2015, DOI:10.15200/winn.143982.27959
6. Cukier, Samantha; Helal, Lucas; Rice, Danielle B.; Pupkaite, Justina; Ahmadzai, Nadera; Wilson, Mitchell; Skidmore, Becky; Lalu, Manoj M.; Moher, David (2020). "Checklists to detect potential predatory biomedical journals: a systematic review". *BMC Medicine*. 18 (1): 104. doi:10.1186/s12916-020-01566-1
7. Krawczyk, Franciszek; Kulczycki, Emanuel (March 1, 2021). "How is open access accused of being predatory? The impact of Beall's lists of predatory journals on academic publishing". *The Journal of Academic Librarianship*. 47 (2): 102271. doi:10.1016/j.acalib.2020.102271

# ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Estándares éticos y científicos para evaluaciones forenses a mujeres víctimas de violencia de género

Nodal Silva Víctor Alejandro<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Doctorando en Derechos Humanos por la Universidad de Guadalajara e Investigador del Centro Universitario de Ciencias de la Salud.

✉ victor.nodal4177@academicos.udg.mx

## Datos del artículo

Cita: Nodal Silva Víctor Alejandro. 2023. Estándares éticos y científicos para evaluaciones forenses a mujeres víctimas de violencia de género. Revista Digital de Ciencia Forense. 2(3): 1-16 pp.

Editor: Anahy Rodríguez González.

Recibido: 10 junio 2023.

Aceptado: 10 octubre 2023.

Publicado: 28 octubre 2023.

## Resumen

En el presente artículo, se abordan elementos éticos, técnicos y científicos mínimos para la realización de evaluaciones forenses a mujeres víctimas de violencia por razones de género. Se analizó la naturaleza de la práctica pericial, y se discutieron estándares sobre la debida diligencia, eliminación de sesgos, responsabilidades de quien realiza las evaluaciones forenses, perfil científico y profesional de quienes realizan investigaciones y evaluaciones forenses, así como reflexiones metodológicas sobre la recolección y análisis de la evidencia. Además, se discuten términos como la revictimización, vilificación y deificación. Por último, se aborda la importancia de ejercer la investigación forense con apego al principio de debida diligencia, perspectiva de derechos humanos, la no instrumentalización de las víctimas y el respeto hacia las personas allegadas a esta, la coordinación del equipo jurídico de investigación y la aplicación del pensamiento crítico para la construcción de la metodología de investigación forense.

**Palabras clave:** evaluación forense, perspectiva de género, ética, ciencia forense, derechos humanos.

## Abstract

In this article, minimum of ethical, technical and scientific elements for forensic assessment of women victims of gender-based violence, are discussed. The nature of the forensic practice was analyzed, and standards on due diligence, elimination of biases, responsibilities of those who carry out forensic evaluations, scientific and professional profile of those who carry out forensic assessment, as well as methodological reflections on the recollection and analysis of forensic evidence were discussed. In addition, terms such as revictimization, vilification and deification were discussed. Finally, it addresses the importance of carrying out forensic investigation in accordance with the principle of due diligence, a human rights perspective, the non-instrumentalization of victims and respect for those close to them, the coordination of the legal investigation team and the application of critical thinking for the construction of the forensic investigation methodology.

**Keywords:** forensic evaluations, gender perspective, ethics, forensic sciences, human rights.



## Sobre la importancia de la investigación forense en casos de violencia contra las mujeres por razones de género

Para fines del presente artículo, se entiende la evaluación forense de la siguiente manera:

*“La opinión de una persona experta en determinada materia, producto de una investigación o de la aplicación de una serie de pruebas o protocolos. Los peritajes, junto con otras pruebas en el marco de la investigación penal, ayudan a determinar los hechos y el contexto en el cual suceden, el grado de culpabilidad de la persona imputada, los daños causados a la víctima y las medidas de reparación del daño pertinentes, entre otros”* (1, p. 12).

Dicha definición se puede desentrañar en una serie de puntos, los cuales son merecedores de un espacio de reflexión. Estos son:

- a. Son la opinión de una persona experta en determinada materia: Para fines forenses, es claro que no cualquier persona está capacitada para acudir a un foro y emitir su opinión. Las y los peritos deben cumplir un perfil mínimo determinado exclusivamente por la ciencia, técnica o arte de su dominio, y no por los caprichos de las autoridades jurídicas o de un procedimiento burocrático dictado por las instituciones de impartición de justicia. Claro que, en el marco adversarial, la experticia de quien hace el pericial es motivo de Litis, por lo que se espera, presente y sostenga sus hallazgos durante el interrogatorio y el contrainterrogatorio, sin olvidar que, el conocimiento presentado por la persona experta solamente será contrastado con los saberes propios de su disciplina y generados por sus pares, emanados de instancias tales como: Universidades; Colegios de profesionales; Colectivos de científicas y científicos; Editoriales científicas, etc.
- b. Son producto de una investigación o de la aplicación de una serie de pruebas o protocolos: si bien, la persona experta emite una opinión sobre el asunto en cuestión, ésta parte en todo momento de saberes contruidos y sostenidos por su ciencia, deben estar basados en buenas prácticas, el estado del arte, el dominio de la historia de la ciencia en cuestión, así como protocolos y manuales apegados a las máximas y premisas de la ciencia y de los estándares internacionales en materia de investigación forense y de derechos humanos. Las y los peritos en ciencia, por la naturaleza del concepto, guían la construcción de sus conocimientos y arriban a conclusiones por medio del seguimiento estricto del método científico. Además, esta metodología deberá ser

transparente y rastreable, toda vez que las conclusiones presentadas serán materia de escrutinio científico y técnico. La mejor manera de lograr lo anterior es apegarse a procesos, protocolos y manuales que hayan demostrado amplia funcionalidad para la investigación del asunto en concreto. Es por eso que las y los peritos deben dominar textos científicos propios de la metodología en investigación de su ciencia aplicada, así como, de su aplicación forense, así como de textos especializados en el asunto pertinente al objeto de investigación en particular (ejem., violencia sexual, perspectiva de género, Derechos Humanos, sentencias locales, nacionales e internacionales, contexto del espacio en el que se desarrolla la violencia investigada, etc.).

- c. Ayudan a determinar: toda investigación forense debe ser útil para el asunto en particular y la información llevada al foro requiere de ser clara, precisa y determinante. Los periciales no pueden presentar opiniones no sustentadas o ser reportes con disponibilidad para interpretaciones de legos en la ciencia y/o con fines únicos de robustecer la teoría del caso de una de las partes. Estas deben ser opiniones firmes, sustentadas, basadas en ciencia y con el único fin de aportar elementos que auxilien a la reconstrucción de los hechos, hablen de la verdad, protejan los derechos de las personas involucradas y, finalmente, asistan a la impartición de justicia.

Aunque los periciales tienen el mismo valor jurídico que los testimonios, su naturaleza es distinta, toda vez que no parten de una testificación presencial del hecho delictivo, sino de la presentación de testimonios técnico-científicos de un fenómeno investigativo en particular, cuya comprensión es clave para el proceso y por ende requiere una competencia técnica particular (1). Es decir, las y los peritos son el vínculo entre el conocimiento científico y el esclarecimiento de los hechos. Por medio del pericial se busca la verdad a través de la comprobación científica de los testimonios y evidencias llevadas a juicio.

Por otro lado, además de la dimensión exclusivamente jurídica y probatoria, los periciales presentados en casos de violencia contra las mujeres por razones de género poseen una dimensión pedagógica para las y los actores jurídicos, puesto que educan sobre las condiciones de vulnerabilidad y desigualdad a las que se enfrentan todos los días las mujeres, permitiendo así la sensibilización e incluso capacitación de las y los integrantes de la corte. Saberes que, en las condiciones correctas, tienen el potencial de construir sentencias justas y jurisprudencia necesaria para la creación de políticas públicas más certeras, con un mayor índice de efectividad en prevenir, sancionar y erradicar la violencia contra las mujeres. Es así que, toda persona experta que se presenta a juicio no deberá perder de vista la dimensión colectiva y política propia de los periciales de tal naturaleza.

De tal forma, el pericial ejecutado en casos de violencia contra las mujeres por razones de género tiene un amplio abanico de funciones entre las que destacan: el esclarecimiento de los hechos; el acceso a la justicia para las víctimas; la reparación del daño; el avance de la ciencia forense; una dimensión pedagógica de los periciales, y; una dimensión colectiva y política (2).

A pesar de lo descrito con anterioridad, la realidad es que las y los ministerios públicos no solicitan la realización de periciales con tales criterios, más bien, obvian por ignorancia o desinterés las bondades de dicha herramienta y se limitan a solicitar periciales “clásicos” en términos exclusivamente psicopatológicos y clínicos, reduciendo así la fuerza de la opinión científica, limitando la dimensión colectiva y de documentación histórica de las violencias contra las mujeres de forma contextual, lo cual ya es grave por sí mismo y violatorio del derecho de las víctimas a la verdad. Por supuesto, todo esto no sucedería sin el sostén de quienes presentan periciales mal desarrollados y violatorios de derechos humanos. La ciencia forense, se ha utilizado por muchos años a la disposición de los intereses exclusivos de las autoridades, las agencias del ministerio público, las defensorías y demás actores jurídicos propios del sistema, pero muy poco en virtud del conocimiento técnico, científico y a favor de las víctimas.

A lo anterior podemos añadir que, no solo existe una obligación ética, ontológica y científica, sino también jurídica formal que determina la necesidad de la ejecución de los periciales aplicados con base en buenas prácticas. Ejemplo específico de lo anterior se encuentra en la sentencia recaída en el Amparo en Revisión 554/2013 de la Suprema Corte de Justicia para la Nación (SCJN) en el caso de feminicidio de Mariana Lima Buendía (México), en cuyo párrafo número 135 se encuentra: “[...] esta Primera Sala destaca que la eficacia de la investigación, en el caso de muertes violentas de mujeres, depende de manera directa y en gran medida, de la prueba técnica realizada por los peritos” (3). Aunque la SCJN hace referencia explícita a los periciales realizados en los casos de muertes violentas de mujeres, es decir feminicidios, al ser esta la expresión máxima de violencia contra las mujeres por razones de género, todo principio científico e investigativo, propio de esta modalidad de violencia, tiene la misma aplicabilidad para el resto de formas de violencias por razones de género. Carlos Martín Beristain (4) establece que los peritajes tienen que ayudar a: 1) identificar los impactos o consecuencias; 2) establecer el nexo de relación causal de estos hallazgos con los hechos señalados; 3) valorar los impactos en su contexto, y; 4) facilitar elementos para la reparación.

Ante esto, queda en evidencia el preponderante valor de las investigaciones y evaluaciones forenses a mujeres víctimas de violencia por razones de género, por lo que continuaría describir consideraciones científicas y éticas propias de dicha práctica forense, esto con la finalidad de que tanto quien investiga como a quien juzga, garantice y tutele, según sea el caso, que la práctica forense se apegue a los estándares propios de una praxis basada en la perspectiva de género, el método científico y en el respeto a los derechos humanos de las personas involucradas en la investigación.

## Estándares científicos/técnicos mínimos y consideraciones éticas en la investigación forense

A partir de lo reflexionado, en el presente apartado se pretende dialogar sobre las necesidades mínimas a considerar, en términos científicos y éticos, para la correcta realización de los periciales en casos de violencia contra las mujeres por razones de género. Se parte de la premisa de que los periciales no pertenecen exclusivamente al proceso jurídico, más bien, en seguimiento de su carácter científico y dimensión política, deben ser de escrutinio público y científico, el cual ponga en primer plano la estrategia metodológica con la que se arriba a las conclusiones, así como a la revisión de pares que validen y discutan su contenido, y como resultado, se lleve el pericial al terreno científico. Vale la pena destacar que, desde la perspectiva de derechos humanos aplicada a las funciones forenses, tanto la dimensión científica como ética resultan indivisibles y se determinan dialécticamente entre ellas, es decir, el pericial no es científico si no es ético y no hay ética en la presentación de una investigación forense que no parte del conocimiento científico aplicado. No obstante, para fines explicativos, escriturales y pedagógicos, se subdivide el artículo en estándares científicos/técnicos mínimos y consideraciones éticas.

### Estándares científicos/técnicos mínimos

Turvey y Freeman (5) escriben sobre una diversidad de normas de práctica científica, las cuales son diseñadas para ayudar a reducir el sesgo, fomentar el empleo de la lógica analítica y el método científico. Estas normas están adaptadas al contenido del presente artículo.

1. *Quien realiza la examinación forense debe esforzarse con diligencia para evitar el sesgo:* un correcto pericial no solamente extrae información pertinente de la aplicación de estrategias propias de su disciplina científica, sino también, la obtiene de otros medios, lo cual depende del hecho que se esté investigando y el acceso a los recursos suficientes (ejem. la carpeta de investigación, otros informes forenses, fotografías, entrevistas colaterales y con víctimas secundarias e indirectas, información victimológica, etc.). Es así que, el margen de error en la evaluación forense, se localiza en la manera en la que se valora qué vale la pena recolectar, y la forma en la que se interpreta esta información. Aquí Turvey y Freeman (5) hablan de dos tipos de sesgos: el efecto del observador y el sesgo de confirmación. El primero se presenta cuando quien examina muestra resultados que parten desde un estado mental alterado (estados emocionales alterados, indiferencia, concepciones ideológicas, estereotipos, etc.), y/o desde la intención cumplir con las expectativas del empleador o empleadora para dar sustento a una teoría del caso específica. Por otra parte, el sesgo de confirmación

se refiere a un estado cognitivo en el que se hace una búsqueda exhaustiva de recolección e interpretación de la información que sostiene la hipótesis de trabajo, así como de ignorar todo aquello que contravenga la postura o ponga en duda el procedimiento o las conclusiones advenidas, evitando una interpretación válida sobre el fenómeno estudiado.

Una estrategia para evitar los sesgos asociados a la ideología, propuesta en el Protocolo para Juzgar con Perspectiva de Género de la SCJN (6), es el uso de las denominadas categorías sospechosas. Para fines forenses, este instrumento asiste como herramienta autocrítica en todo pericial que sea realizado con poblaciones que históricamente han sido relegadas a situaciones de vulnerabilidad, caso concreto el de las mujeres, para identificar posibles tratos diferenciados injustos que contaminan la investigación en términos de recolección de información o de interpretación de la misma. La citada herramienta propone la autoexploración de criterios investigativos a partir de la guía del cuestionario que se muestra en lo subsecuente, el cual fue adaptado por el autor para su uso forense, asimismo, el cuestionario es ilustrativo más no limitativo: a) ¿La investigación hubiese sido llevada a cabo de manera distinta o se hubiera llegado a otras conclusiones si la víctima perteneciera a un grupo que no se encontrara en situación de vulnerabilidad?; b) ¿Se utilizaron los procedimientos y los protocolos apropiados para investigar el fenómeno en virtud de la víctima, así como en sentido de la modalidad y tipo de violencia que vive?; c) ¿Soy la persona correcta para la realización del presente pericial o existen condiciones personales específicas que lo impidan?; d) ¿El daño causado genera un impacto diferenciado a partir del sexo, género, preferencia u orientación sexual de la persona involucrada?; e) ¿Qué tipo de medidas de reparación pueden hacerse cargo de este impacto diferenciado?; f) Si fueron detectadas relaciones asimétricas de poder y condiciones de desigualdad estructural, ¿cuáles son las medidas que el pericial puede enunciar para revertir dichas asimetrías y desigualdades?; g) ¿La medida de reparación se basa en una concepción estereotipada o sexista de la persona en cuestión?; h) a partir del daño causado, el sexo, el género y las preferencias/orientación sexual de la víctima, ¿cuáles son las medidas más adecuadas para reparar el daño?; i) en la definición de las medidas de reparación ¿se tomó en cuenta el parecer de la víctima?; j) ¿Cuál fue el impacto del daño en los roles y responsabilidades familiares, laborales y comunitarios de la víctima? ¿Cómo puede subsanarse este impacto?; k) ¿Existió un “daño colectivo”? ¿Es posible repararlo?; l) ¿Se trata de un caso en donde el daño se produjo por pertenecer a un determinado grupo?; y; m) ¿La reparación se hace cargo de todos los daños detectados?

2. *Quien realiza la examinación forense es responsable de solicitar todas las evidencias e información relevantes para presentar un perfil adecuado de la víctima y formar opiniones relacionadas:* debido al contexto histórico específico en el que se ha desarrollado la violencia contra las mujeres por razones de género, este fenómeno es imposible de reducir exclusivamente a la dimensión subjetiva

o intersubjetiva del delito, de tal forma que, para su correcta valoración y comprensión, es necesario que la o el perito sea capaz de identificar tal contexto por medio de otras fuentes de información, además del de la víctima directa, lo cual es evidente cuando hablamos de feminicidio pero también aplica para otras modalidades de violencia por razones de género, creando así una obligación inescapable de solicitar a las autoridades competentes o a quien le emplea, el acceso a toda la carpeta de investigación que incluya, entre otras cosas, el resto de los periciales disponibles y la descripción de las diligencias realizadas. Cuando la o el perito no tenga acceso a dicha información, esto deberá ser plasmado claramente en el informe pericial y enunciado en juicio durante el interrogatorio y contrainterrogatorio. Además, cuando se tiene acceso a este tipo de información, una o un perito con verdadera experticia en la temática tendrá la oportunidad de hacer sugerencias sobre las diligencias realizadas o faltantes, así como de proponer la realización de actos de investigación específicos.

3. *Quien realiza la evaluación forense es responsable de determinar:* es inadmisibile que un pericial se dedique únicamente a la descripción de los fenómenos observados, toda vez que la función de la ciencia forense es la de presentar conclusiones y opiniones sustentadas en evidencia científica. Cuando un reporte forense se dedica de manera única a describir fenómenos y sin justificar motivo válido, se debe considerar que la persona no es apta para la realización del pericial y este no deberá tener valor alguno en tanto que incumple con el requerimiento básico de toda investigación forense.

4. *Las conclusiones forenses y sus bases deben proporcionarse en un formato escrito:* aunque se parte de la lógica de que, en el sistema adversarial, la prueba pericial se presenta durante el desahogo del interrogatorio y contrainterrogatorio de la o el testigo experto, esto debe estar cimentado desde un informe pericial escrito al cual las partes tengan pleno acceso. El reporte escrito permite al propio experto o experta la síntesis de la información obtenida, además, posee la bondad de la organización lógica de una línea de contenido que permita el seguimiento de la organización cognitiva de quien evalúa, de tal forma que la conclusión se muestre consistente y transparente. Por otro lado, el reporte escrito es un antecedente de los métodos y conclusiones, citable y revisable en todo momento, lo cual es un valioso candado para evitar la tergiversación del dicho de la o el declarante, evitando malas interpretaciones y la posibilidad de que la o el examinador forense altere a placer los hallazgos.

5. *Las y los científicos forenses tienen que demostrar una comprensión de las ciencias del comportamiento, las ciencias forenses, el método científico y la perspectiva de Derechos Humanos:* toda persona que pretenda presentarse como experta o experto forense competente deberá poseer como mínimo el siguiente perfil profesional: a) por lo menos un nivel educativo de pregrado en

ciencia. Este grado educativo tendrá que estar respaldado por una institución universitaria seria, que demuestre que sus programas poseen un valor formativo y curricular satisfactorio, así como que deberá estar registrada correctamente en términos de la normatividad aplicable al territorio en concreto. Tal condición deja fuera del perfil las disciplinas estudiantiles de la conducta en términos no científicos (*coaching*, psicología transpersonal o de vidas pasadas, adivinación, programación neurolingüística, constelaciones familiares, biodecodificación, etc.); b) estudios avanzados y conocimiento práctico en ciencias forenses. Demostrables en términos curriculares, preferentemente por medio de un posgrado en ciencias forenses o en su ciencia forense aplicada. También podrá ser adquirido por medio de certificaciones, diplomados, cursos y seminarios impartidos por instituciones académicas y colegios de profesionales en psicología que demuestren incuestionable seriedad formativa. Dicha formación avanzada deberá ser en temas acordes a la materia forense y propias de las disciplinas científicas, evitando el uso de disciplinas pseudocientíficas o altamente cuestionadas por comunidades académicas, de tal forma que, de acuerdo con la postura abordada en este artículo, se considera oportuno excluir y no considerar como válidos cursos en temáticas como, “hipnosis forense”, grafología, análisis morfo-psicológico, detección de mentiras, parapsicología, poligrafía, etc. Para establecerlo con toda claridad, en toda ocasión que el o la examinadora forense pretenda validar sus conocimientos por medio de la presentación de credenciales de tales formaciones no científicas, o, se demuestre una mala praxis metodológica a partir de estas concepciones inválidas en materia forense, se le debe considerar ignorante de la metodología científica y por lo tanto incompetente; c) estudios avanzados y conocimiento práctico en materia de protocolos de intervención y evaluación de mujeres víctimas de violencia por razones de género, perspectiva de género, estudios de género, estudios sobre la violencia y en general sobre la aplicación de la perspectiva de Derechos Humanos, y; d) demostrar capacidades de investigación y evaluación basadas en buenas prácticas, el método científico y los estándares internacionales. Esto es, transparentar sus procedimientos metodológicos de tal forma que la comunidad científica pueda discutir y avalar el proceso y las conclusiones. Todo en favor de la ciencia, el esclarecimiento de la verdad y el acceso a la justicia.

6. *Todas las conclusiones deben basarse en hechos probados, los hechos no se pueden asumir para fines de análisis:* no es difícil encontrar periciales que asumen conclusiones basadas en conjeturas, malas prácticas y hechos no probados. Ejemplo concreto de esto lo encontramos en el caso Lesvy Berlín Rivera Osorio [7], en el cual, por medio de una incorrecta aplicación de la estrategia investigativa denominada necropsia psicológica, el informe presentado por las dependencias de investigación forense, demostró ser contrario a la perspectiva de género, estigmatizó a la víctima y desvirtuó la línea de investigación del feminicidio catalogando la muerte como suicidio por medio de una metodología a todas luces cuestionable, valoraciones subjetivas de la conducta de la víctima

observada en una videograbación, así como de una falta de comprobación de hipótesis frente a la evidencia física.

7. *Las conclusiones deben estar basadas en inferencias válidas sobre argumentos lógicos y el razonamiento analítico:* el informe pericial deberá poseer un firme cimiento argumentativo, es decir, libre de falacias, declaraciones incorrectas de los hechos y estereotipos. La correcta aplicación del método científico y la lógica de las conclusiones se difuminan ante la imposibilidad de escribir de forma estructurada y bien argumentada. Una mala argumentación y la falta de un claro razonamiento analítico son motivos suficientes para dudar de la validez de las conclusiones presentadas en el reporte forense.

8. *Las conclusiones deben alcanzarse con la ayuda del método científico:* todo saber forense presentado en juicio tiene que estar sustentado en el método científico, el cual parte de la observación del fenómeno, la generación de hipótesis, la experimentación y/o comprobación (por medio de la contrastación de las hipótesis frente a toda la evidencia disponible) y por último las conclusiones. A destacar que, la piedra angular del método científico es el falsacionismo y no la validación. Quien hace ciencia, busca deliberadamente toda aquella información que contravenga lo descrito en su hipótesis de trabajo, en caso de que esta sobreviva y sostenga su validez, advendrá una conclusión valiosa y confiable, de no ser así, los cánones de las buenas prácticas y del método científico exigirán replantear la hipótesis hasta que esto sea logrado. Así pues, se derriba todo argumento forense sostenido exclusivamente por medio de la intuición o la experiencia bruta de quien examina.

9. *Las conclusiones deben demostrar una comprensión de, y distinguir claramente entre, resultados individuales y todos los demás:* toda la información diferenciada, deberá ser claramente explicitada, sin dejar lugar a malos entendidos por parte de quien realiza la lectura o a disposición de reconfiguraciones convenientes para el o la examinadora forense. El pleno objetivo del pericial psicológico siempre será clarificar los hechos en términos concretos y claros, no confundirlos o tergiversarlos.

10. *Cualquier evidencia, dato o hallazgos en los que las conclusiones se basan deben estar a disposición a través de la presentación o citación:* con fines de transparencia y validación de pares, toda la información utilizada para la redacción del pericial, deberá ser correctamente citada, localizable y disponible para el escrutinio tanto del resto de los actores jurídicos como de la propia comunidad científica forense. Esto es cierto no solamente en términos bibliográficos y con fines escriturales y de localización de fuentes especializadas, sino también, al referirse a evidencias, diligencias, otros periciales u actos de investigación.



## Consideraciones éticas

En lo que sigue, enunciaremos algunas consideraciones éticas mínimas al momento de realizar una evaluación forense en casos de mujeres víctimas de violencia por razones de género. Se pretende discutir una serie de lineamientos reflexivos que auxilien a construir una guía ética de actuación, no solo con la finalidad de obtener resultados válidos para su presentación en juicio, sino también, para ejecutar todas las acciones bajo un estricto apego a los Derechos Humanos de las personas involucradas, procurando obtener la mayor cantidad de información posible, pero manteniéndonos vigilantes de evitar todo tipo de revictimización.

Para fines del presente texto, entenderemos la revictimización como toda acción u omisión llevada a cabo por integrantes del poder judicial, fiscalías, fuerzas policiales, investigadores forenses, defensorías y el resto de actores jurídicos intervinientes en el proceso penal que, a partir de la falta de apego al principio de debida diligencia, producen en la víctima un nuevo daño o malestar asociado al hecho victimizante original. De tal definición, se desprende una diferenciación entre la revictimización y la victimización secundaria, comúnmente presentadas como sinónimos en la literatura, diferenciándoles en tanto que el daño asociado a la primera es producto de la judicialización del proceso y en términos de responsabilidad institucional y estructural, por otro lado, el daño causado por la segunda es consecuencia de las acciones u omisiones de entes no gubernamentales o individuales como son los medios de comunicación, las redes sociales, la familia, la comunidad, etc.

Aunque en muchas ocasiones, la revictimización es consecuencia de actos u omisiones de actores jurídicos malintencionados, lo más preocupante del fenómeno es la dimensión involuntaria de la generación del malestar en la víctima, es decir, no toda revictimización sucede en términos de plena conciencia de las acciones ejecutadas. Se pueden tener buenas intenciones en la realización de sus acciones, pero no ejecutarlas en términos de debida diligencia y con falta de estrategias adecuadas de comunicación y sensibilización ante la violencia de género. En cualquier caso, las consecuencias de una mala práctica tienen como potencial un amplio abanico de resultados indeseados y violatorios de derechos humanos tales como la propia revictimización, la falta de confianza en las autoridades, el cese de las acciones de investigación por parte del ministerio público con la excusa de la falta de seguimiento por parte de la víctima y la limitación al derecho de la mujer al acceso a la justicia. Además, el lamentable contexto en el que vivimos nos ha dejado en claro que, toda vez que se deja a la víctima en estado de indefensión, esto tiene el potencial de dimanar en feminicidio.

Vinculado con lo previo, resulta pertinente traer a colación los conceptos de deificación y vilificación:

*“Deificación implica idealizar a las víctimas en función de quiénes son, sin tener en consideración los hechos [...] Debido a la política o la cultura de una determinada zona o región, ciertas poblaciones víctimas tienden a ser percibidas política o públicamente con cierto tipo de simpatía. [...] Vilificación o estigmatización implica percibir a una víctima como despreciable o desechable en virtud de quién o qué es, sin consideración de los hechos [...]. En última instancia, esto tiende a ser conducido por el sentido subjetivo de la moral personal del investigador, o de comunidades con intereses similares, esto facilita la apatía en la investigación”*

(5, p. 35)

Bajo la aclaración de que la vilificación y la deificación aplican tanto para las víctimas como para los agresores, ambos conceptos permiten atraer la dimensión política de las investigaciones forenses y generar un espacio de reflexión crítica, toda vez que las mujeres han sido históricamente relegadas a una condición de sometimiento al ejercicio del poder de los hombres, así también, el sistema patriarcal pretende enaltecer la masculinidad hegemónica considerando a las mujeres como ciudadanas de segunda categoría y estandarizando sus conductas por medio de estereotipos y roles de género. Por un lado, cuando la víctima es deificada (ejemplo, una mujer casada a la que se le considera incapaz de tener una relación sentimental fuera del matrimonio), se pierden líneas de investigación necesarias para el esclarecimiento de los hechos (la identificación de otras parejas sexuales o sentimentales que resulten de interés investigativo justificado). Sentido contrario, cuando el agresor es deificado y la víctima envilecida, la investigación muestra una manifiesta tendencia a sostener el dicho de este mediante la descalificación de la víctima a partir de su personalidad, conductas o condición social, culminando en: a) la determinación de la credibilidad de la víctima en función de ideas preconcebidas sobre la forma en la que esta debería haber actuado antes de la violencia, durante el acto y después del acto, debido a las circunstancias, a su carácter y a su personalidad; b) la presunción tácita de la responsabilidad de la víctima por lo que le sucedió ya sea por su forma de vestir, por su ocupación laboral, conducta sexual, relación o parentesco con el agresor; c) el uso de referencias a estereotipos sobre la sexualidad masculina y femenina de la víctima o del perpetrador; d) poca atención brindada al testimonio de las niñas, y; f) interferencia en la vida privada de las mujeres cuando su vida sexual es tomada en cuenta para considerar el alcance de sus derechos y de su protección (8).

## Normas de práctica ética

Finalmente, en este apartado se abordan seis elementos mínimos básicos a seguir para quienes realizan investigaciones forenses con perspectiva de género.

Al igual que en la mayoría del cuerpo del presente artículo, no se pretende construir un listado limitativo de consideraciones, sino, por el contrario, iniciar la discusión desde un piso mínimo de requerimientos éticos, con la finalidad de que estos sean adaptados y extendidos conforme a las necesidades de las víctimas involucradas en los hechos investigados.

1. *Obligación de investigar bajo el principio de debida diligencia y con perspectiva de género*: los procedimientos de investigación deben estar regidos por los más altos estándares de debida diligencia y perspectiva de género, contemplando el uso de herramientas e instrumentos internacionales en materia de derechos humanos de las niñas y mujeres, para garantizar el acceso a la justicia y evitar la impunidad. En estos, se deben realizar diligencias particulares, que tendrán que estar enfocadas a la acreditación de las razones de género. Dichos estándares permiten generar una suerte de “instrumento de medición” para evaluar si el Estado cumple con sus obligaciones [8], a través de la correcta investigación criminal de los delitos contra las mujeres por razones de género. El deber de investigar y garantizar una respuesta adecuada del Estado frente a hechos de violencia tiene “alcances adicionales cuando se trata de una mujer que sufre una muerte, maltrato o afectación a su libertad personal en el marco de un contexto general de violencia contra las mujeres” (9, párr. 293).

2. *Poseer un perfil profesional idóneo*:

*“El deber de investigar con seriedad las violencias contra las mujeres requiere contar con profesionales capaces de identificar los factores necesarios para conceptualizar e indagar sobre la existencia de violencia de género, conforme a los tratados y estándares internacionales”*  
(8, p. 29).

En virtud de lo ya reflexionado sobre el perfil profesional, vale la pena aclarar que, a pesar de que las y los profesionales clínicos comparten por lo menos el mismo nivel de pregrado que los expertos y expertas forenses, ambas subespecialidades no son equiparables, por lo que resulta inconveniente la inclusión en el juicio de profesionales que se dedican de forma exclusiva a la clínica y no a lo forense. Sobre esto, Coronado y Turvey, escriben:

*“Los profesionales clínicos normalmente parecen ser muy inocentes en cuanto a poder diferenciar entre marcos del tratamiento y marcos (legales) forenses. [...] En este sentido, los clínicos no están generalmente al tanto de qué tratamientos y roles emplean los forenses y entran en conflicto directo. Además, ambos perfiles tienen diferentes metas y requerimientos”* (10, p. 66).

Importante aclarar que lo mismo aplica para otras subespecialidades científicas no forenses, empero, se opta por ejemplificar con la clínica toda vez que la experiencia ha demostrado que son el perfil más confundido y mal llamado a corte para rendir informes forenses.

3. *No instrumentalizar a las víctimas*: sin ignorar que las víctimas directas e indirectas son una fuente importante de información, no se debe caer en el error de priorizar la extracción de información a costa de producir malestar o resultar indiferentes ante el dolor de las víctimas. Las entrevistas no son una suerte de cuestionario, más bien, es un espacio para la reconstrucción de la verdad de las víctimas y un primer paso para el acceso a la justicia. Las víctimas que han sido entrevistadas en reiteradas ocasiones o que han sido revictimizadas por otros actores jurídicos, pueden presentar importantes resistencias a la evaluación forense, especialmente si dichas malas experiencias fueron vivenciadas con otra u otro profesional forense. Esto será entendido como un mecanismo de defensa y, por lo tanto, el o la profesional deben generar condiciones acordes que posibiliten la ejecución de una investigación respetuosa, no dañina y útil. En este contexto, el peritaje deberá buscar entablar un diálogo de ida y vuelta, en el que la víctima tenga conocimiento y control del proceso, y en el que se le ofrezca la posibilidad de generar un espacio de reflexión, más allá de la repetición (1).

4. *Garantizar el respeto y participación de los familiares o personas que conviven con la víctima en su condición de víctimas indirectas*:

*“El Tribunal Europeo de los Derechos Humanos estima que la falta de participación de los familiares en la investigación penal es suficiente para implicar la responsabilidad internacional del Estado [...] Permitir la actuación de los/as interesados/as tiene un mayor valor en casos que afectan a las mujeres pues son quienes afrontan más dificultades para acceder a la justicia. En toda investigación es fundamental que los familiares y allegados/as de las víctimas reciban de manera directa de las autoridades a cargo de las investigaciones toda la información correspondiente al avance de las mismas, respetando su privacidad, seguridad y sus garantías judiciales” (8, p. 29-30).*

Por otro lado, las fuentes de información secundarias, como los familiares y personas cercanas a las víctimas, extienden la posibilidad de obtener información útil y necesaria para la valoración de la violencia vivida por la víctima, la reconstrucción de los hechos y la completa comprensión del contexto. Su participación en los periciales deberá ser puesto a consideración de las necesidades específicas, las preguntas de investigación y los objetivos de cada pericial.

5. *Asegurar la coordinación entre el equipo jurídico y quien se encargue de realizar el pericial*: es importante que la o el perito se mantenga en comunicación constante con el equipo jurídico que lleve el caso, toda vez que existe la necesidad de que quienes integren este último comprendan los requerimientos suficientes para la realización del pericial, tales como, el tiempo de realización y los recursos necesarios. Por otro lado, una buena coordinación entre ambas partes promueve la cooperación en pro de las víctimas y facilita el trabajo de la o el experto forense, permitiendo incluso que forme parte activa de la estrategia jurídica llevada en el juicio (1).

6. *Aplicación del pensamiento crítico en la investigación*:

*“Gran parte del estudio forense financiado por el gobierno ocurre en circunstancias que no permiten la reflexión, la contemplación, la experimentación, el tiempo o la destreza intelectual [...] Esto ocurre, y le es permitido ocurrir, en razón de aquellos con intereses personales y de las autoridades que dirigen los resultados forenses hacia sus propósitos”* (11, p. 25).

Esto se evita a partir del pensamiento crítico aplicado el cual, según los mismos autores, incluye lo siguiente: a) evaluar la naturaleza y calidad de la información y su fuente; b) reconocer prejuicios; c) separar hechos de opiniones; d) distinguir entre fuentes primarias de información (información inalterada -directa de la fuente) y fuentes secundarias (información alterada -interpretada o sintetizada por alguien más), y; e) sintetizar la información.

## Conclusiones

Grandes Cortes de justicia han reconocido a la práctica forense como un elemento central para la investigación efectiva de casos que involucren violencia contra las mujeres por razones de género. Entender esta importancia obliga a toda persona investigadora a vigilar su práctica pericial y ejercerla con diligencia para garantizar los más altos estándares científicos y éticos.

Las y los testigos expertos han pugnado por un espacio de especial consideración para la ciencia en los tribunales de justicia, continúa entonces sostener el discurso, demostrar experticia, realizar una labor forense científica y protectora de derechos humanos, tomando un papel activo en los contextos históricos actuales que viven los países latinoamericanos, en este caso, los contextos de violencia contra las mujeres. Tenemos un claro imperativo ante la comunidad forense, porque así nos lo exigen nuestros pueblos, la ciencia y el respeto a los derechos humanos.

En palabras de Ignacio Martín-Baró:

*“Por eso, con toda la humildad de quien sabe cuán limitado es su conocimiento, pero con la insistencia de quien sabe que es un asunto vital en el que está en juego su credibilidad científica y profesional, debemos poner manos a la obra. Nuestros pueblos juzgarán si nuestro aporte es grande o pequeño, importante o secundario; en todo caso, que se nos juzgue por acertar o fracasar en el empeño, no por haber eludido nuestro compromiso” (12, p. 126).*

## Bibliografía

1. Observatorio Nacional Ciudadano del Femicidio en México. Guía metodológica para la elaboración de peritajes antropológicos, psicosociales y socioculturales en casos de femicidio en México. México: Católicas por el Derecho a Decidir A.C.; 2016 [Consultado 2023 abr 09]
2. Cervantes, S., Coronado, A. Niveles de análisis en psicología forense. *Revista psicología criminal y forense Latinoamérica*. 2018; 1: 10-11.
3. Sentencia recaída al Amparo en Revisión 554/2013, Primera Sala de la Suprema Corte de Justicia de la Nación, Ponente: Ministro Alfredo Gutiérrez Ortiz Mena, 25 de marzo del 2015.
4. Beristain, C. M. Manual sobre la perspectiva psicosocial en la investigación de derechos humanos. México: Serapaz, Fundar, CDHDF; 2011.
5. Turvey, B. y Freeman, J. *Victimología forense*. 1ra. ed. Aguascalientes, México: Forensic Press; 2016.
6. Suprema Corte de Justicia de la Nación. Protocolo para Juzgar con Perspectiva de Género. México: Dirección General de los Derechos Humanos de la Suprema Corte de Justicia de la Nación; 2020 [Consultado 2023 feb 18].
7. Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal. Falta de debida diligencia reforzada en la investigación del posible femicidio de Lesvy Berlín Rivera Osorio, y negligencia en atención a sus familiares; recomendación 01/2018 [Internet]. México: Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal; 2018 [Consultado 2022 dic 10].
8. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos (2014). Modelo de protocolo latinoamericano de investigación de las muertes violentas de mujeres por razones de género (femicidio/feminicidio) [Internet]. Panamá: a Oficina Regional para América Central del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos; 2014 [Consultado 2022 dic 10].
9. Corte Interamericana de Derechos Humanos. (2009). Caso González y otras (“Campo Algodonero”) Vs. México. Sentencia de 16 de noviembre de 2009 (Excepción Preliminar, Fondo, Reparaciones y Costas).
10. Turvey, B. y Coronado, A. (Comps.). *Psicología de la mentira: falsas acusaciones e investigación criminal*. Aguascalientes, México: Forensic Press; 2018.
11. Turvey, B. y Coronado, A. (Eds.). *Protocolos de investigación criminal*. Aguascalientes, México: Forensic Press; 2016.
12. Martín-Baró, I. Violencia en Centroamérica: una visión psicosocial. *Revista de psicología de El Salvador*. 1990; IX (35): 123-146.

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Comparación analítica de cuatro modelos para reconstrucción de trayectorias balísticas

 Vicente Torres Zúñiga <sup>1</sup>✉, José Guadalupe Bañuelos Muñeton <sup>2</sup>
<sup>1</sup>Escuela Nacional de Ciencias Forenses, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

✉ vicentetorres@enacif.unam.mx

## Datos del artículo

Cita: Torres Zúñiga Vicente, Bañuelos Muñeton José Guadalupe. 2023. Comparación analítica de cuatro modelos para reconstrucción de trayectorias balísticas. Revista Digital de Ciencia Forense. 2(3): 17-35 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sanchez.

Recibido: 24 marzo 2024.

Aceptado: 17 abril 2024.

Publicado: 30 abril 2024.

## Resumen

Presentamos un análisis detallado de varios modelos de trayectoria balística aplicados en el campo forense, incluidos modelos de línea recta, parabólicos y que consideran efectos de arrastre lineal y cuadrático. Dos criterios analíticos nos permiten comparar la efectividad de estos modelos, facilitando identificar circunstancias en las que es conveniente utilizar un modelo más complejo que uno más simple. Basándose únicamente en la velocidad inicial del proyectil, la justificación numérica apoya la elección de una trayectoria recta en lugar de una parabólica, o un modelo de resistencia lineal en lugar de esta última. El modelo cuadrático presenta la mejor expresión para el caso expuesto, pero sólo puede compararse con el modelo de resistencia lineal en determinadas circunstancias. Las mediciones experimentales también respaldaron los resultados teóricos. Asimismo, esta contribución ofrece recursos didácticos para diversos niveles educativos y para diferentes perfiles profesionales; pero se centra en un área forense: el disparo de proyectiles por arma de fuego.

**Palabras clave:** arma de fuego, trayectoria de proyectil, física forense, criterio forense, matemática forense.

## Abstract

We present a detailed analysis of various ballistic trajectory models applied in the forensic field, including straight line, parabolic, and models that consider linear and quadratic drag. Two analytical criteria allow us to compare the effectiveness of these models, making it easier to identify circumstances in which it is preferable to use a more complex model rather than a simpler one. Based only on the initial velocity of the projectile, the numerical justification supports choosing a straight-line trajectory over a parabolic one, or a linear drag model over this. The quadratic model presents the best expression for the exposed case, but it can only be compared to the linear resistance model in certain circumstances. Experimental measurements also supported the theoretical results. Also, this contribution offers teaching resources for various educational levels and for different professional profiles; but it is centered on one forensic area: projectiles fired by firearm.

**Keywords:** firearm, projectile trajectory, forensic physics, forensic criteria, forensic mathematics.



## Introducción

La reconstrucción de trayectorias balísticas es un tópico esencial en la ciencia forense pero poco desarrollado en el quehacer que se desahoga en los tribunales. Aunque en la academia existen tratados sobre trayectorias balísticas, el público objetivo es más cercano a la física matemática que a los profesionales que laboran como peritos, ministerios públicos, fiscales, abogados o jueces. Por ejemplo, guías elaboradas especialmente para que los jueces valoren la prueba pericial en materia de balística excluyen el examen de trayectorias y la reconstrucción del lugar de los hechos (1). Más aún, libros especializados en la perspectiva forense sobre tiroteos soslayan los alcances de la aplicación de los diferentes modelos fisicomatemáticos (2). De modo que no es tema agotado en la literatura especializada y poco utilizado en pesquisas.

En términos de balística forense, por lo general, se considera adecuado utilizar el modelo de línea recta cuando es corta la distancia entre el cañón de un arma de fuego activada (3,4), si es una distancia mediana, entonces es conveniente utilizar el modelo parabólico (5) y a enormes distancias el uso de los modelos de arrastre (6). Sin embargo, no quedan claros los límites e intervalos de validez de cada modelo.

En una publicación anterior presentamos un criterio que justifica el uso de un modelo lineal y un modelo parabólico en la reconstrucción de una trayectoria balística (7). Considerando que un modelo lineal y un parabólico se parecerán en un 99% hasta una distancia de  $x_{0.99}$  que es una función de la velocidad inicial  $v_0$  si se cumple la condición expresada por una ecuación sencilla.

Sin embargo, quedó pendiente la comparación con otros modelos, en particular en el que la parábola se modifica a causa de la acción de la resistencia del aire oponiéndose al viaje del proyectil.

En esta contribución hacemos una revisión a la propuesta inicial y la ampliamos. Hasta el momento, es de nuestro conocimiento que esta es la primera publicación que trata el tema del uso adecuado entre estos cuatro modelos de trayectoria para el quehacer forense. En la figura 1 se ilustra la idea de la propuesta al transitar de un modelo a otro utilizando una justificación cimentada en la física del desplazamiento del proyectil.

El documento tiene la siguiente estructura: Primero se presentan los desarrollos teóricos de cada modelo de línea recta, después del parabólico, su criterio de comparación entre ellos. Más adelante, se detalla un modelo de trayectoria que considera el arrastre lineal del aire y proyectil, el criterio de comparación entre el modelo parabólico y de arrastre lineal. Esta sección cierra con la presentación de un modelo de resistencia cuadrática y su comparación con el modelo de arrastre lineal. Después se presenta la comparación gráfica de los diferentes modelos y sus criterios de comparación, exhibiendo cálculos de

casos específicos para balística forense. A continuación, se presenta un estudio empírico con una lanzadera de dardos. De tal modo este texto trata de cubrir aspectos teóricos y empíricos, pero sobre todo brindar herramientas que sean de utilidad para quienes deben reconstruir una trayectoria balística.



**Figura 1.** Esquema de evolución de modelos, iniciando con el que menos datos físicos considera y más simple, la trayectoria lineal. Él que en orden se transforma modelos más sofisticados: trayectoria parabólica, con arrastre lineal y con arrastre cuadrático. La decisión de utilizar un modelo se fundamenta en un criterio. Si dos modelos son equivalentes se puede usar el más sencillo, hasta una distancia límite. Es de esperar que las distancias límites entre modelos sean mayores dependiendo de las condiciones implicadas.

## Consideraciones teóricas

### Modelo lineal

Sin pérdida de generalidad, supondremos que el proyectil se desplaza dentro de un plano. De modo que la trayectoria que describe el objeto se encuentra contenida en el espacio matemático bidimensional. El plano donde se describe la trayectoria se considera paralelo al plano contenido en los ejes-*xy*.

La línea recta es el modelo más simple de describir la trayectoria, pero también es el que menos parámetros físicos considera (8). Desde el punto de vista de la geometría analítica se puede escribir como:

$$y = ax + b \tag{1}$$

donde *a* representa la pendiente de la recta y *b* la ordenada de origen. Sin embargo, esta ecuación se extiende por todo el espacio. En temas forenses esta recta será delimitada entre las coordenadas de la boca del cañón del arma de fuego (*x*<sub>1</sub>, *y*<sub>1</sub>) y el punto donde impacta con el objetivo del disparo (*x*<sub>2</sub>, *y*<sub>2</sub>). Considerando estos dos puntos es posible obtener la pendiente de la ecuación y su coordenada independiente. De un modo general la ecuación se puede escribir del siguiente modo:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1 \tag{2}$$

O bien en términos del otro punto que presenta el indicio:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1 \quad [3]$$

Las ecuaciones anteriores son equivalentes al contener a los puntos involucrados. La obtención del punto  $(x_2, y_2)$  implica la localización espacial y caracterización geométrica de la zona donde impactó el proyectil. Lo cual se hace con varillas cuando existen boquetes o agujeros, o por medios digitales, analizando escaras u otros medios de investigación.

Ahora, para realizar la comparación entre modelos vamos a suponer que el disparo se realiza horizontalmente, de modo que la pendiente es igual a cero. Es decir,  $y_2 = y_1$ . Simplificando el modelo lineal a una constante:  $y = y_1$ .

### Modelo parabólico

Al considerar el efecto de la gravedad, el proyectil se desvía de la trayectoria recta y describe una parábola. Y ahora varios parámetros físicos se deben tomar en cuenta. Tales como la velocidad inicial  $v_0$ , el tiempo  $t$ , y la constante gravitacional  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ . El ángulo del disparo se interrelaciona con la pendiente. Entonces, de la literatura se tiene que las ecuaciones paramétricas de este modelo son:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + (v_0 \cos \theta) t \\ y &= y_0 + (v_0 \sin \theta) t - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad [4]$$

En la mayoría de los casos forenses el llamado “tiempo de vuelo” del proyectil no es un parámetro crucial de investigación. Por lo que se prefiere escribir la ecuación de la trayectoria parabólica en un sistema cartesiano, la cual es descrita por:

$$y = y_0 + x \tan \theta - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2 \quad [5]$$

De hecho, se puede observar que presenta la forma analítica de la ecuación de una parábola y como función de  $x$ .

Ahora, como en caso del modelo anterior, consideremos que el tiro es horizontal, de manera que  $\theta = 0$ , lo que implica que  $\cos(\theta) = 1$ , y que  $\tan(\theta) = 0$ . De modo que la ecuación se simplifica a la siguiente expresión:

$$y = y_0 - \frac{g}{2v_0^2} x^2 \quad [6]$$

Si los dos modelos representan el movimiento del mismo proyectil, entonces deben coincidir en el punto de origen. De modo que  $y_0 = y_2$ . Más aún, consideremos que el origen de coordenadas más adecuado para realizar la comparación es (0, -1). Ya que si se elige el origen (0, 0) una comparación entre modelos puede resultar en indeterminaciones matemáticas, si se escoge que el origen sea  $y_0 > 0$  en algún momento del recorrido la parábola cruzara por el cero, lo que de nuevo implicara una ambigüedad de interpretación para algunos puntos. De tal modo que la coordenada (0,-1) nos permite una buena comparación entre el modelo lineal y el parabólico.

### *Comparación entre modelos lineal y parabólico*

En el desarrollo de la física, ha resultado beneficioso aprovechar la operación de dividir dos cantidades para comparar y analizar fenómenos naturales. Este enfoque se sustenta en la premisa de que muchas magnitudes físicas se relacionan de manera proporcional o inversa, lo que permite establecer comparaciones significativas entre diferentes sistemas o situaciones.

Una de las aplicaciones más comunes de esta técnica es la comparación de velocidades. Al dividir la distancia recorrida por un objeto entre el tiempo que le lleva en recorrerla, se obtiene la velocidad. Esta velocidad puede compararse con la de otros objetos en circunstancias similares o con velocidades de referencia conocidas. Por ejemplo, al comparar la velocidad de un automóvil con la velocidad máxima permitida en una carretera, se puede determinar si el automóvil está excediendo los límites permisibles. Además, la división de dos cantidades es esencial en la física para calcular magnitudes como la aceleración, la densidad, la resistencia eléctrica y muchas otras. Estas magnitudes proporcionan información crucial sobre el comportamiento y las características de los sistemas físicos que se estudian.

Para el tema que exponemos en este documento, utilizaremos la división para comparar los dos modelos. En el numerador colocaremos el modelo inicial y en el denominador el precedente. Es decir, el modelo de la línea recta  $y_1$  sobre el modelo parabólico  $y_p$ . Es evidente que para todo punto  $y_1 > y_p$ , excepto el origen donde  $y_1 = y_p$ . Más aún,  $y_p$  es una función monótona decreciente, de modo que cuando mayor sea el valor de  $x$ , mayor será la diferencia entre ambas. Esta diferencia la podemos escribir del siguiente modo:

$$\frac{y_1}{y_p} = \frac{-1}{-1 - \frac{g}{2v_0^2} x^2} \quad [7]$$

Definamos el índice adimensional  $C = y_1 / yp$ . Este será un criterio de comparación entre la separación de la distancia vertical del modelo lineal y del parabólico. Reiteramos, que si  $C = 1$ , implica que  $y_1 = yp$ , de modo que los modelos son iguales; pero esto solo sucede en el origen de coordenadas (0,-1) después de este punto tendremos que el numerador 1 es dividido por valores superiores a 1 en sucesión monótona ascendente de tal forma que el valor de  $C$  disminuirá de forma continua descendente. Es decir, mientras más grande sea  $x$ , menor será  $C$ . De modo que  $C$  carece de cota máxima. Entonces, al definir  $C$ , la única variable desconocida es  $x$ , la cual se puede determinar y la etiquetaremos como  $xc$ , ese será el valor límite para asegurar que los comportamientos de los dos modelos son similares.

De tal modo, reordenando signos, podemos escribir a  $C$  como una función de  $xc$  mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{1}{1 + \frac{g}{2v_0^2} x^2} \quad [8]$$

Despejando  $xc$  obtenemos la ecuación que nos interesa:

$$xc = v_0 \sqrt{\left(\frac{1}{C} - 1\right) \frac{2}{g}} \quad [9]$$

Esta ecuación nos permite la comparación entre los modelos de trayectoria lineal y parabólico. Por ejemplo, si el criterio es laxo, como puede ser  $C = 0.8$ . Obtenemos que solo se debe multiplicar la velocidad inicial por una constante:

$$x_{0,8} \approx 0.2259 v_0 \quad [10]$$

Para ilustrar la idea, para un proyectil con una velocidad de 235 m/s esta distancia es 79.056 m. Es decir, después de esta distancia no se puede utilizar el modelo lineal con un criterio de que se deben parecer ambas trayectorias en un 80%.

### *Modelo que considera la resistencia del aire contra el movimiento del proyectil*

Hoy en día, aún la mayoría de los modelos que consideran la fricción entre el aire y el proyectil en movimiento son numéricos (6,9). Sin embargo, existen algunos modelos analíticos, pero que suelen considerar una serie de parámetros que solo son posibles de obtener cuando se cuenta con el control del objeto de estudio (10). En temas forenses es inusual obtener todos los datos de área efectiva, peso, coeficiente de fricción, entre otros. Tal vez el parámetro más accesible de conseguir sea la velocidad terminal, que posee la ventaja de resumir la información de parámetros particulares de los proyectiles. Tal modelo es poco conocido y aquí presentamos una propuesta para deducirlo.

Supongamos que un proyectil de masa  $m$  en movimiento es afectado por la resistencia del aire que actúa en sentido opuesto a la dirección del desplazamiento, y que su magnitud es directamente proporcional a la velocidad instantánea del proyectil. En un sistema cartesiano, podemos escribir la ecuación de movimiento como:

$$m \frac{dv}{dt} = mg - rv \tag{11}$$

Donde  $r$  representa una constante positiva, asociada a la resistencia al desplazamiento del proyectil. Esta ecuación se puede dividir en dos componentes:

$$\frac{dv_x}{dt} = -g \frac{vx}{v_T} \tag{12}$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -g \left( 1 + \frac{vy}{v_T} \right) \tag{13}$$

Donde  $v_T = mg/r$  es la velocidad terminal. En otras palabras, es la velocidad asociada al movimiento del proyectil cuando la fuerza de arrastre es igual a la ejercida debido a gravedad.

Integrando la ecuación de la velocidad en  $x$  tenemos:

$$\int_{v_{x0}}^v \frac{dv_x}{v_x} = \int_{v_T}^t - \frac{g}{v_T} dt \tag{14}$$

Por lo que obtenemos:

$$\ln \left( \frac{v_x}{v_{x0}} \right) = - \frac{g}{v_T} t \tag{15}$$

Sabemos que  $v_{x0} = v_0 \cos(\theta)$ . Por lo cual podemos escribir:

$$v_x = v_0 \cos(\theta) \exp\left(\frac{-gt}{v_T}\right) \tag{16}$$

En esta ecuación notamos que la velocidad horizontal es afectada por el arrastre. De otro modo, sería una constante, lo que sucede cuando la escala temporal es  $t < \frac{v_T}{-gt}$ .

Ahora, considerando la componente en el eje vertical el desarrollo anterior, procedemos de modo similar al anterior, obteniendo:

$$\int_{v_{y0}}^v \frac{dv_y}{v_t + v_y} = \int_0^t \frac{-g}{v_T} dt \quad [17]$$

Al integrar obtenemos:

$$\ln \left( \frac{v_T + v_y}{v_T + v_{y0}} \right) = \frac{-g}{v_T} t \quad [18]$$

Recordando que  $v_{y0} = v_o \sin(\theta)$ . Así que podemos despejar  $v_y$ :

$$v_y = v_o \sin(\theta) \exp\left(\frac{-gt}{v_T}\right) - v_T \exp\left(1 - \frac{-gt}{v_T}\right) \quad [19]$$

Observando las ecuaciones de  $(v_x, v_y)$  si el proyectil se mantiene mucho tiempo en el aire, en el orden superior de  $\frac{v_T}{g}$ , entonces caerá tendiendo a la vertical con velocidad terminal  $v_T$ , sin importa el ángulo de lanzamiento.

Para obtener las ecuaciones paramétricas en el espacio, se integra una vez más, como el desplazamiento como función del tiempo. Donde para  $x$  obtenemos:

$$x = \frac{v_o v_T \cos(\theta)}{g} \left(1 - \exp\left(\frac{-gt}{v_T}\right)\right) \quad [20]$$

Para tiempos muy cortos  $t < \frac{v_T}{g}$ . La ecuación se reduce a la solución parabólica:

$$x = v_o \cos(\theta) t \quad [21]$$

En contraste  $t > \frac{v_T}{g}$ , nos determina el alcance considerando el arrastre:

$$x = \frac{v_o v_T \cos(\theta)}{g} \quad [22]$$

Continuando con el desarrollo de la ecuación de trayectoria considerando el arrastre y un ángulo de disparo horizontal, despejamos la velocidad terminal, y obtenemos:

$$v_T = \frac{xg}{v_0} \tag{23}$$

Ahora, considerando el caso vertical, integrando la expresión de la velocidad en  $y$ , obtenemos:

$$y = \frac{v_T}{g} (v_0 \sin(\theta) + v_T) \left(1 - \exp\left(\frac{-gt}{v_T}\right)\right) - v_T t \tag{24}$$

Cuando el movimiento inicia  $t < \frac{v_T}{g}$ , la expresión se reduce al modelo parabólico:

$$y = v_0 \sin(\theta) t - \frac{2}{g} t^2 \tag{25}$$

En contraste, para  $t > \frac{v_T}{g}$ ; tenemos:

$$y = \frac{v_T}{g} (v_0 \sin(\theta) + v_T) - v_T t \tag{26}$$

### Comparación entre el modelo parabólico y el de arrastre lineal

Considerando el despeje de la velocidad terminal y que el tiro es horizontal tenemos:

$$y = \frac{g}{v_0^2} x^2 \left(1 - \exp\left(\frac{-gt}{v_T}\right)\right) - \frac{xg}{v_0} t + y_0 \tag{27}$$

La cual es la ecuación de una parábola  $y(x)$ . Ahora como los efectos de resistencia son apreciables a tiempos superiores de  $\frac{v_T}{g}$ . Siendo tolerables, se deben comenzar a observar a  $t = 2 \frac{v_T}{g}$ . Lo que supondrá que  $\exp(-2) \approx 0.135$ . Valor que consideramos muy bajo para seguir utilizando en la expresión. Obtenemos después de simplificar:

$$y \approx - (2-1) \frac{g}{v_0^2} x^2 + y_0 \tag{28}$$

Como argumentamos antes, la ecuación anterior también es monótona decreciente. De hecho, su pendiente es más pronunciada que la ecuación parabólica. Por lo tanto, también es conveniente definir el valor  $y_0 = -1$ . Comparando el modelo de la ecuación de tiro parabólico con la de arrastre tenemos:



$$\frac{y_p}{y_r} = \frac{-1 - \frac{g}{2v_0^2} x^2}{-1 - (2-1)\frac{g}{v_0^2} x^2} \quad [29]$$

Considerando signos y simplificando la notación  $A = (2-1)$  y  $R = \frac{g}{v_0^2}$ .  
Tenemos:

$$C = \frac{1 - \frac{1}{2} R x^2}{1 + A R x^2} \quad [30]$$

Despejando  $x^2$  de la relación:

$$x^2 = \frac{2}{R} \left( \frac{1-C}{2CA-1} \right) \quad [31]$$

Sustituyendo  $R$  y despejando  $x$ , obtenemos:

$$x = v_0 \sqrt{\left( \frac{1-C}{2CA-1} \right) \frac{2}{R}} \quad [32]$$

Aquí,  $C$  esta acotada entre  $\frac{1}{2A} < C < \frac{1}{A}$ . Retomando la propuesta para el tiempo,  $A = 1$ . Obtenemos:

$$x = v_0 \sqrt{\left( \frac{1-C}{2C-1} \right) \frac{2}{R}} \quad [33]$$

Entonces,  $C$  estará contenido dentro del intervalo (0.5, 1), que es el conveniente para situar la transición adecuada entre ambos modelos. Esta ecuación nos permite la comparación entre los modelos de trayectoria parabólica y con el de arrastre lineal. Como lo expusimos antes, si el criterio es poco estricto, con el ejemplo de que  $C = 0.8$ , en este caso obtenemos:

$$x_{0.8} \approx 0.2608 v_0 \quad [34]$$

Puntualizando, para un proyectil con una velocidad de 350 m/s esta distancia es de 91.287 m. Es decir, más allá de esta distancia no se puede utilizar el modelo parabólico garantizando de que ambas trayectorias se deben ser equivalentes en al menos un 80%.

### Modelo de resistencia cuadrática

La resistencia del aire puede semejarse a un flujo laminar alrededor del proyectil, el cual implica una resistencia linealmente proporcional a la velocidad del proyectil, de ahí que nombremos al modelo como de arrastre lineal. Sin embargo, cuando el flujo es turbulento, la resistencia es proporcional al cuadrado de la velocidad, por lo que nombramos al modelo como de arrastre cuadrático.

En tales consideraciones se requieren realizar aproximaciones sustanciales desde el principio del planteamiento de las ecuaciones de movimiento. Nuevamente, la mayoría de las propuestas son numéricas y suelen ser más sofisticadas que el objetivo expositivo de este documento. Sin embargo, por completes de esta exposición, presentamos un modelo que considera una trayectoria de ángulo bajo (en inglés: *low angle trajectories* LAT) que implican que la velocidad inicial del proyectil  $v_0 = (v_{0x}, v_{0y})$  presenta diferencias en sus componentes tales que  $v_{0x} \gg v_{0y}$  (11). Entonces la ecuación de movimiento será:

$$m \frac{dv}{dt} = mg - bv^2 \tag{35}$$

Y se debe transformar en componentes como:

$$\frac{dv_x}{dt} = -bv_x^2 \tag{36}$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -bv_y v_x - g$$

La solución se fundamenta en resolver primero la componente de la velocidad horizontal. Para este caso no presentamos aquí los pasos intermedios, pues son similares a los presentados en el apartado anterior. Considerando las siguientes definiciones

$$a \equiv bv_0x \tag{37}$$

$$v_x = \frac{v_{0x}}{1 + at} \tag{38}$$

$$v_y = \frac{v_{0x} - gt/2}{1 + at} - gt \tag{39}$$

Las ecuaciones paramétricas son:

$$x = \frac{1}{b} \ln(1 + at) \tag{40}$$

$$y = \left( v_{0y} + \frac{g}{2a} \right) \frac{1}{a} \ln(1 + at) - \frac{1}{4} g t^2 - \frac{g t}{v_T} \quad [41]$$

Despejando  $t$  de la ecuación (40), sustituyendo en (41) y considerando un valor de cero en la velocidad inicial en  $y$ , tenemos la siguiente expresión:

$$y = \left( \frac{g b x}{2 a^2} \right) - \frac{g}{4 a^2} (e^{b x} - 1)^2 - \frac{g}{2 a^2} (e^{b x} - 1) \quad [42]$$

Simplificando obtenemos:

$$y = \frac{g b x}{2 a^2} - \frac{g}{4 a^2} e^{2 b x} + \frac{g}{a^2} e^{b x} - \frac{3 g}{4 a^2} \quad [43]$$

Como en los modelos anteriores, consideramos que el movimiento inicia en (0,-1), agrupamos y escribimos en términos de  $b$ . De modo que obtenemos la relación:

$$y = \frac{g}{4 b^2 v_0^2} (2 b x - e^{2 b x} + e^{b x} - 3) - 1 \quad [44]$$

Esta relación tiene un comportamiento diferente a las presentadas anteriormente, contiene un término lineal  $2bx$  que es una recta ascendente, que al restarla de la exponencial de  $2bx$  produce el descenso suave y luego pronunciado que conforma a la curva. El resto de los términos son correctores menores. Sin embargo, existe un término independiente de  $x$  pero que depende del inverso cuadrado de  $b$ . La correcta determinación del valor de  $b$  es crucial para el modelo, pues lo desvía verticalmente para ciertos valores. El parámetro  $b$  se puede escribir en términos de la velocidad terminal  $v_T = \sqrt{g/b}$ . Lo cual facilita el estudio balístico. La velocidad de proyectiles de armas de fuego convencionales, que suelen ser de interés forense, se encuentra en un intervalo de entre los 40 y 70 m/s, pero depende de las características del proyectil lanzado.

### Comparación del modelo de arrastre lineal y de arrastre cuadrático

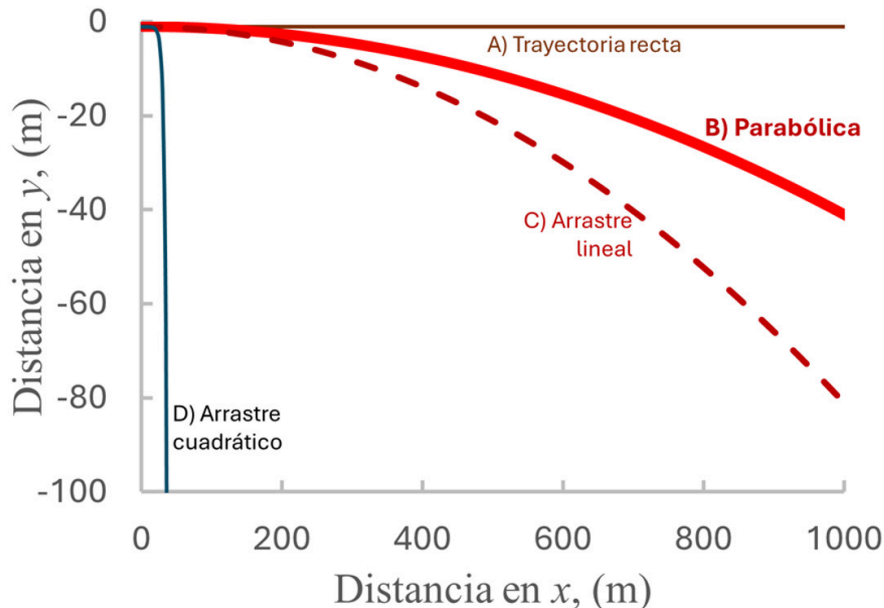
La expresión de arrastre cuadrático propuesta es trascendental, no existe una forma analítica simple para realizar el despeje de la variable  $x$ . Para realizar esta tarea se debe recurrir a métodos numéricos o aproximaciones. Por ejemplo, las fundamentadas en el primero o segundo término de una serie de Taylor en un punto posterior a la correcta utilización del modelo de arrastre lineal, pues antes de tal distancia no tiene un sentido realista. En la comparación con modelos de arrastre lineal y cuadrática se obtiene una expresión cuadrática. Es decir, se obtienen dos soluciones. Lo que resalta que no se cuenta con modelo completamente monótono descendiente. Para ciertas combinaciones de velocidad inicial y terminal se observa que el proyectil se eleva en lugar de

descender. Es claro que la perspectiva analítica no es el mejor camino para comparar estas dos relaciones.

Así, una alternativa más pragmática es graficar las ecuaciones y comparar su división numérica. Lo cual brinda una idea clara del comportamiento entre los dos modelos.

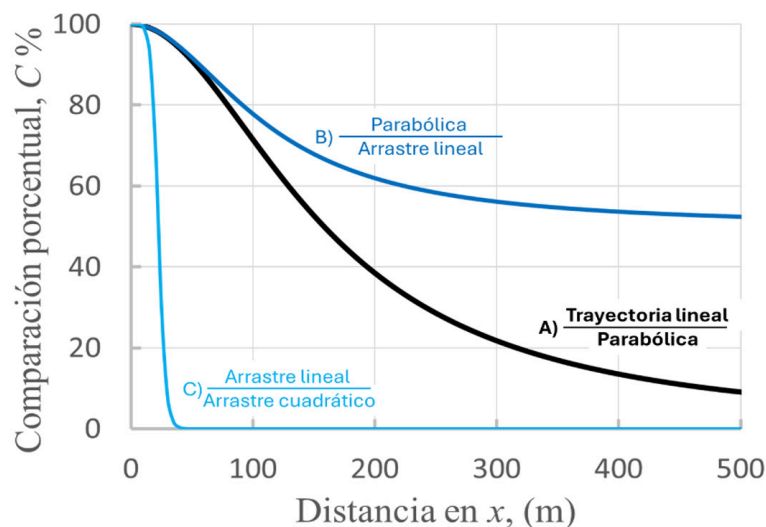
### Comparaciones gráficas

La figura 2 muestra las trayectorias de los cuatro modelos, definiendo una velocidad inicial  $v_0 = 350$  m/s, y velocidad terminal  $v_T = 60$  m/s. Se observa de la figura que el modelo lineal solo es útil a distancias relativamente cortas, también que el modelo parabólico y de arrastre lineal son coherentes con lo pronosticado: que la curva parabólica tenga una desviación de la horizontal menos pronunciada que aquella de arrastre lineal. Sin embargo, el modelo de arrastre cuadrático presenta un descenso abrupto, de tal forma que no se observa una distancia que permita establecer la transición entre modelos. Este comportamiento también era el esperado. Los modelos de arrastre cuadrático implican que el fluido circundante (por el que viaje el proyectil) sea muy denso y de comportamiento no-lineal en comparación con el aire. En otras palabras, si el medio fuera agua, un gel o un tejido blando el modelo de arrastre cuadrático sería el adecuado para describir el movimiento del proyectil en el espacio (12). Con todo, es importante mostrar el resultado y no dejarlo a la especulación.



**Figura 2.** Gráficas de los cuatro modelos: A) trayectoria lineal, B) parabólica, C) arrastre lineal y D) arrastre cuadrático. Observe como el modelo de arrastre cuadrático difiere drásticamente de la evolución del resto de los modelos. Para la elaboración de las curvas se consideraron las condiciones de velocidad inicial de  $v_0 = 350$  m/s, y velocidad terminal  $v_T = 60$  m/s.

En la figura 3 se presenta la comparación gráfica de la división de modelos teóricamente consecutivos: A) la recta entre el parabólico, B) el parabólico entre el arrastre lineal y C) el arrastre lineal sobre el arrastre cuadrático. Al fijar un criterio, por ejemplo, como  $C = 60\%$ , observamos que la distancia que define el modelo de arrastre lineal y el arrastre cuadrático es muy pequeña, tanto que no atraviesa intervalos longitudinales donde se pueden usar los modelos menos sofisticados, esta es una de las razones por las cuales se debe descartar el uso del modelo de arrastre cuadrático en proyectiles que viajan en el aire. En contraste, siguiendo la misma línea horizontal, encontramos la distancia que define la transición entre los modelos de recta y parabólico de hasta 60% de similitud, y a continuación la distancia límite para los modelos comparados de parábola y arrastre lineal. La relación entre estas dos comparaciones es coherente en toda la gráfica. Más aún, es notorio que la comparación del modelo parabólico sobre el arrastre lineal tiende asintóticamente hacia el valor de  $C = 50\%$ ; que era lo esperado de acuerdo con las definiciones en el desarrollo de las ecuaciones.



**Figura 3.** Gráficas de la comparación porcentual entre los modelos en función de la transición ordenada de lineal, a parabólica, con arrastre lineal y arrastre cuadrático. Para la elaboración de las curvas se consideraron las condiciones de velocidad inicial de 350 m/s,  $v_T = 60$  m/s. Observe que en el origen (0 m de distancia) los modelos son equivalentes. A medida que aumenta la distancia horizontal los modelos difieren en su predicción de la distancia vertical. Las distancias de transición del modelo de trayectoria lineal a parabólica y de ésta a con arrastre lineal son coherentes; no así, la transición de la predicción de la comparación del modelo de arrastre lineal a cuadrático.

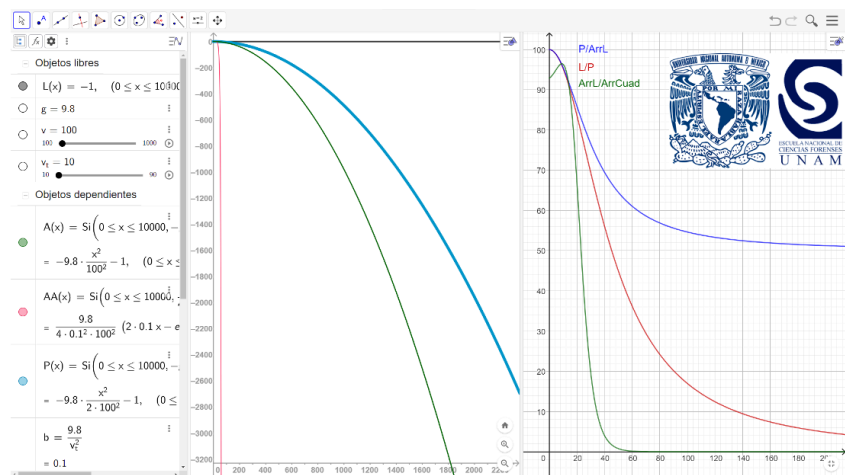
Existen varias propuestas para clasificar a los proyectiles expulsados por arma de fuego. Una es mediante su velocidad inicial; dividiendo en dos categorías los de velocidad baja cuando son impulsados del arma a velocidades menores de 305 m/s y los de velocidad alta cuando los proyectiles superan la velocidad

de 610 m/s (13). Entre estos dos grupos se añade uno más en el intervalo que acotan. En la tabla 1 se consideran estos intervalos y se muestran las distancias límites entre modelos considerando criterios de similitud entre modelos de 90, 80 y 70%.

**Tabla 1.** Valores numéricos de distancia máxima entre modelos de trayectoria considerando tres criterios específicos (90, 80 y 70 %) para proyectiles un proyectil de velocidad baja y otro de velocidad alta.

Velocidad inicial	Distancia (m)			
	300 m/s		650 m/s	
	Lineal a parabólico	Parabólico a arrastre	Lineal a parabólico	Parabólico a arrastre
90	45.175	47.9157	97.880	103.817
80	67.763	78.246	146.820	169.533
70	88.723	117.369	192.233	254.300

Como material adicional a este manuscrito, se programó en la plataforma Geogebra, un *software* matemático de uso didáctico que permite presentar gráficas y cálculos de modo dinámico, las ecuaciones de las trayectorias y sus comparaciones. El programa ofrece la opción de variar automáticamente un parámetro, lo que permite observar el cambio en las gráficas en tiempo real. Su presentación puede ser relevante como herramienta didáctica para comprender mejor los efectos de las velocidades inicial y terminal en los modelos, así como la utilización de sus cotas máximas, ver figura 4. El *software* está disponible vía Internet: <https://www.geogebra.org/m/wbyue5uh>



**Figura 4.** Captura de pantalla del programa GeoGebra donde se programaron los cuatro modelos de trayectorias balísticas: lineal, parabólico, con arrastre lineal y arrastre cuadrático. En el primer panel aparecen las ecuaciones y controles de velocidad inicial y velocidad terminal, además de las calculadoras de xC. En panel intermedio se encuentran las trayectorias, y el panel derecho la comparación entre modelos.

### Comparación de los modelos con datos experimentales

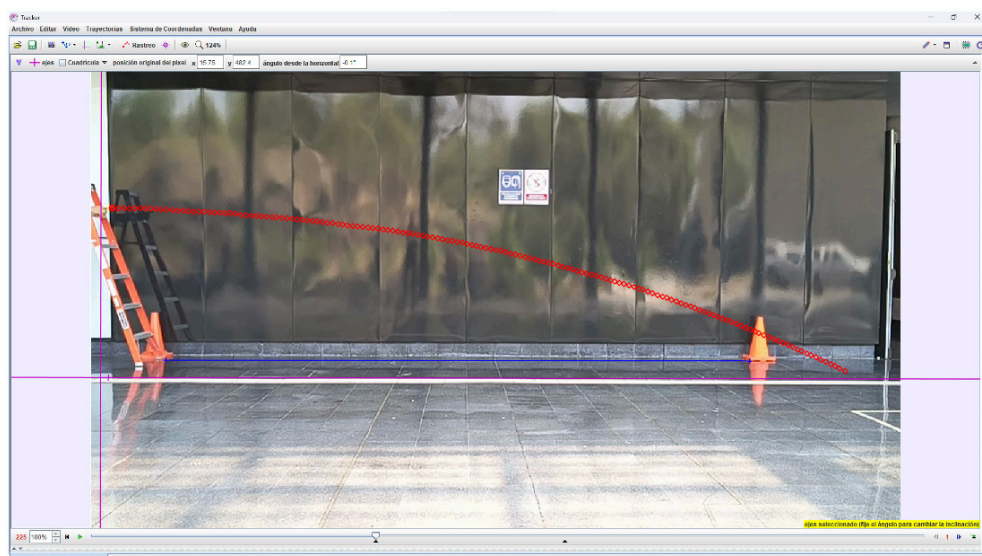
Con el fin de completar este estudio se videograbó un disparo horizontal de una lanzadera (Nerf, modelo Jolt N-strike) de dardos de hule espuma y plástico suave de 7 cm de longitud y 3 gramos de peso. Como material adicional a este documento, el video está disponible al público en general a través de Internet: [https://youtu.be/rtpu\\_6BY6Xg](https://youtu.be/rtpu_6BY6Xg). La intención era registrar suficientes datos de la trayectoria del proyectil para calcular el parámetro de la velocidad inicial y realizar las comparaciones con los otros modelos. De haberse utilizado un arma de fuego la cantidad de datos experimentales sería significativamente menor, además de incrementar las precauciones metodológicas al utilizar estos instrumentos potencialmente mortales. También teniendo en cuenta que, aunque la propuesta expuesta en este documento se centra en el quehacer de la balística forense, no es limitante para su utilización en otras áreas del conocimiento. El registro del movimiento del proyectil se realizó mediante una cámara de un *smartphone* (Motorola. Edge 40Neo) a 240 cuadros por segundo, la cámara se montó en un trípode a una distancia aproximada de 4 m de la lanzadera. El registro de imágenes se activó manualmente. No se requirió mejorar la iluminación ambiente. En estas condiciones se obtuvieron imágenes digitales claras, nítidas, enfocadas y sin vibraciones.

El video se analizó con el programa Tracker Physics. Este *software* es reconocido por su aplicación didáctica de la física y en investigaciones forenses (14,15). En las imágenes el plano del movimiento del proyectil tendía a ser paralelo al sensor de la cámara, y la lente no produjo artefactos o efectos de aberración óptica; por lo cual, no se requirió el utilizar filtros digitales o procesamiento para mejorar el estudio de las imágenes. En Tracker se estableció el marco de referencia con una corrección de giro de 0.1 grados de manera de hacerla paralela a las líneas horizontales en el piso de la imagen. Como testigo métrico se utilizaron dos conos de señalización de tránsito terrestre separados una distancia de 6 m.

La figura 5 presenta una captura de pantalla del programa Tracker y las marcas de los ejes de coordenadas, así como la vara de calibración y los puntos registrados del movimiento del proyectil. Con el programa se obtuvieron 150 puntos. En la figura 6 se muestra una gráfica con los puntos registrados y ajustados a una parábola, de modo que se obtuvo que el ángulo de disparo fue de 1.5 grados y la velocidad de disparo de 12.55 m/s (equivalente a 45.18 Km/h). Si consideramos un criterio  $C = 90\%$ , entonces las distancias límites horizontales que separan el modelo lineal del parabólico (con los primeros 34 puntos) y del parabólico del de arrastre lineal (con los primeros 36 puntos) son respectivamente: 1.89 y 2.01 metros. Como lo explicamos en el desarrollo teórico de las ecuaciones de arrastre, entonces los 114 puntos restantes se pueden ajustar al modelo de arrastre lineal.

En la figura 6 se muestra la gráfica de los datos, las ecuaciones, las curvas de ajuste y el índice  $R^2$ . Hay que aclarar que no se realizaron más estudios

estadísticos sobre estos ajustes, pues la intención es que sea solo un ejemplo. Observamos que el mejor ajuste de todos los datos corresponde al modelo parabólico en comparación con los otros, aunque este no considera cotas de uso. En lo que se refiere a la propuesta de modelos, el modelo de línea recta presentó un aceptable ajuste en su intervalo de uso. El modelo parabólico que solo considera 36 datos mostró un mejor ajuste que el modelo de recta, así como un ángulo de disparo muy aproximado al cero y una velocidad inicial mayor a la calculada inicialmente. La ecuación del modelo de arrastre lineal, con sus 114 puntos, presenta un mejor ajuste que los otros dos modelos, con una velocidad inicial de 18.58 m/s. Es factible que mientras se considere una mayor cantidad de puntos para el ajuste, los efectos de ruido disminuyan y mejore el índice  $R$ . Sin embargo, al inicio del movimiento los efectos de arrastre no son tan trascendentes. Estos resultados dejan clara la importancia de tener criterios fundamentados en la física al utilizar un modelo sobre otro.



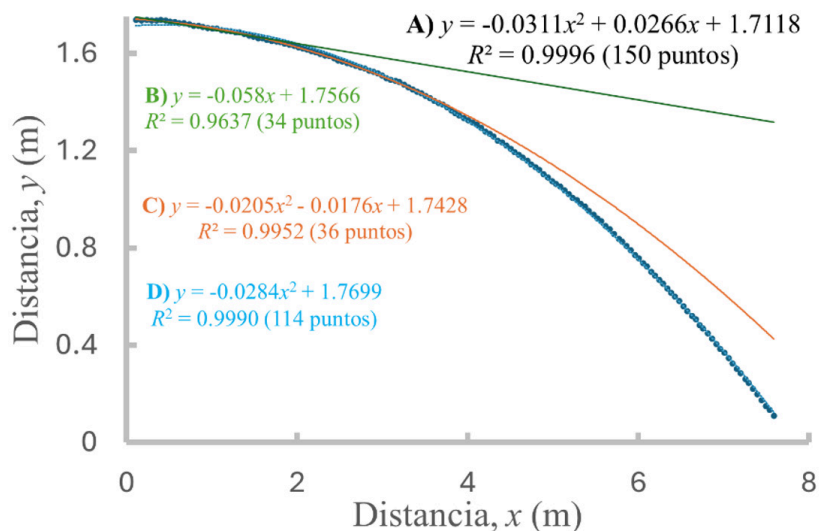
**Figura 5.** Captura de pantalla del programa Tracker, donde se muestra la trayectoria marcada por captura de coordenadas. También se muestra el eje coordenado y la vara de calibración.

### Conclusiones

En esta contribución se han presentado ecuaciones que representan diversos modelos de trayectorias balísticas en el ámbito forense, incluyendo la línea recta, la parabólica, y aquellas que consideran arrastre lineal y cuadrático. A partir de estos modelos, se han deducido dos criterios analíticos para comparar su desempeño, lo que permite determinar en qué circunstancias un modelo más elaborado debería preferirse sobre uno más simple. Así que, para respaldar la elección de una trayectoria de línea recta sobre una parabólica o sobre un modelo de arrastre lineal, se dispone de una justificación numérica que depende únicamente de la velocidad inicial del proyectil. En tales circunstancias la tabla



1 es un buen referente dependiendo de las condiciones de velocidad inicial para dos tipos de arma.



**Figura 6.** Gráfica de 150 puntos de la trayectoria parabólica. También se muestran las ecuaciones de ajuste a los modelos de trayectoria indicando el número de puntos utilizados y el índice estadístico  $R^2$ .

Aunque se presenta una expresión mejorada de las reportadas en la literatura, para el modelo de arrastre cuadrático no se logró obtener una expresión característica posible de comparar con el modelo de arrastre lineal. Y se señalan algunas razones físicas que sugieren lo inapropiado del modelo de arrastre cuadrático en el contexto objeto-aire, pero se reconoce la imperativa necesidad de continuar explorando propuestas analíticas alternativas.

Las bases teóricas que sustentan estas conclusiones han sido reforzadas por mediciones experimentales coherentes, y pueden ser de utilidad didáctica en diversos niveles educativos y para distintos perfiles profesionales. Esta contribución resulta valiosa para la reconstrucción de incidentes balísticos en el ámbito forense, y además no solo limitada a aquellos que involucran proyectiles disparados por armas de fuego.

No obstante, será en futuras publicaciones donde se aborden otros casos de interés relacionados, como las caídas de personas y patrones de proyección de gotas de sangre, entre otros escenarios de aplicación.

## Bibliografía

1. Macías ZIG, Castro EML. Guía para la valoración judicial de la prueba pericial en materia de balística forense. Ciudad de México, Mexico.
2. Haag MG, Haag LC. Shooting incident reconstruction: Academic press; 2020.
3. Hueske EE. Cap. 2: Mathematics of Shooting Reconstruction. En Practical Analysis and Reconstruction of Shooting Incidents.: CRC Press; 2005. p. 24.
4. Galligan AA, Fries C, Melinek J. Gunshot wound trajectory analysis using forensic animation to establish relative positions of shooter and victim. Forensic science international. 2017; 271: p. e8-e13.
5. Kerkhoff W, Broekhuis FR, Mattijssen EJ, Riva F. The systemic error in the vertical component of handgun bullet trajectory reconstructions. Journal of forensic sciences. 2023; 69(2): p. 651-658.
6. Khan A, Shah I, Aziz S, Waqas M, Zaman UKU, Jung DW. Khan, A., Shah, I., Aziz, S., Waqas, M., Zaman, U. K. U., & Jung, D. W. Aerospace. 2022; 9(12): p. 816.
7. Torres-Zúñiga V, Bañuelos-Muñetón JG. Cálculo de la distancia máxima que justifica utilizar el modelo lineal en una reconstrucción de trayectoria balística. Revista Brasileira de Criminalística. 2017; 6(3): p. 7-12.
8. Lehmann CH. Geometría analítica México: Union Tipografica Edition Hispano Americana.; 1959.
9. Quinodoz FD, Moreira SE, Serafin EA. Análisis y Simulación Numérica de la Trayectoria Balística de un Proyectil Conformado por Explosión. Mecánica Computacional. 2021; 38(23): p. 915-922.
10. Yépez Mulia E. Mecánica analítica Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2007.
11. Warburton RDH, Wang J. Analytic approximations of projectile motion with quadratic air resistance. Journal of service science and Management. 2010; 3(1): p. 98.
12. Fossati del Ángel V. Cotas de máxima penetración de proyectiles calibre 9mm al impactar maniqués biológicos plásticos..
13. Magaña Sánchez IJ, TSJJ, GNLM, & NCO. Conceptos básicos de balística para el Cirujano General y su aplicación en la evaluación del trauma abdominal. Cirujano general. 2011; 33(1): p. 48-53.
14. dos Santos AM, Carvalho PS. Abordagem do movimento relativo através do estudo do movimento parabólico com o uso do software Tracker. Revista do Professor de Física. 2021; 5(1): p. 40-48.
15. Torres-Zúñiga V. Comparación analítica entre video y simulación de una precipitación. Revista Digital de Ciencia Forense. 2022; 1(1): p. 23-37.



**ARTÍCULOS INVESTIGACIÓN  
REALIZADOS POR ESTUDIANTES**

# Reparación integral para niñas, niños y adolescentes como víctimas indirectas del delito de feminicidio en la CDMX

Jamie Carbonell Zamora<sup>1</sup> ✉, Anahy Rodríguez González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ciencia Forense, Escuela Nacional de Ciencias Forenses, Universidad Nacional Autónoma de México.

✉ jamie.carbonellz@gmail.com

## Datos del manuscrito

Cita: Carbonell J, Rodríguez, A. 2023. Reparación integral para niñas, niños y adolescentes como víctimas indirectas del delito de feminicidio en la CDMX. Revista Digital de Ciencia Forense. 2(3): 36-49 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sánchez.

Recibido: 27 julio 2023.

Aceptado: 20 septiembre 2023.

Publicado: 28 octubre 2023.

## Resumen

En la Ciudad de México se ha presentado un incremento en el número de carpetas de investigación iniciadas por el delito de feminicidio. Por ello, el presente trabajo aborda la relación del delito de feminicidio con niñas, niños y adolescentes que se encontraban bajo el cargo de mujeres víctimas del mismo; quienes, de acuerdo con la definición otorgada por la Ley de Víctimas de la Ciudad de México, son víctimas indirectas de esta conducta delictiva y, por tanto, tienen derecho a la reparación integral, aplicando el principio de enfoque diferencial y especializado y el del interés superior de la niñez. Sin embargo, a pesar de la relevancia del tema, actualmente existe poca información respecto a estas víctimas y la forma en que ejercen su derecho a la reparación integral. El presente artículo busca otorgar una propuesta de abordaje; considerando la inserción del perfil multi e interdisciplinario de los y las científicas forenses para la elaboración de un plan de reparación integral.

**Palabras clave:** feminicidio, niñas, niños, adolescentes, reparación integral, científicos y científicas forenses.

## Abstract

In Mexico City, there has been an increase in investigations started for the crime of femicide. Therefore, the present paper approach the connection between the crime of femicide and children and teenagers, whose, according to the definition given by the Ley de Víctimas de la Ciudad de México, are indirect victims of this crime, and for that, they have the right to the integral repair, applying the principle of differential and specialized approach and the best interests of the child. However, despite the relevance of the topic, there is currently a lack of information regarding these victims and how they exercise their right to integral reparation. This paper seeks to provide a proposal for an approach, considering the insertion of the multi and interdisciplinary profile of forensic scientists for the elaboration of an integral reparation plan.

**Keywords:** Femicide, children, teenagers, integral repair, forensic scientists.

## Feminicidio y su incidencia en la Ciudad de México

Diane Russel fue la primera mujer que denominó el homicidio de mujeres como femicide o femicidio y lo definió en su libro *Rape in Marriage* como el asesinato de mujeres, solo por ser mujeres. Posteriormente, Diane Russel en conjunto con la Dra. Jane Caputi, en su artículo *Speaking the unspeakable*, definieron al femicidio como el homicidio violento de mujeres cometido por hombres por motivos de odio, desprecio, placer o sentimiento de propiedad sobre ellas (1).

En América Latina, Marcela Lagarde acogió el término feminicidio y lo distinguió del femicidio, estableciendo que el segundo engloba una diferencia fundamental entre los homicidios de mujeres cometidos por hombres en diversas circunstancias (femicidio) y aquellos cometidos por hombres contra mujeres en una situación de relaciones de poder desiguales (feminicidio, 2); asimismo, consideró que el Estado también es responsable de su comisión, ya que éste es quién debería hacerse responsable de los casos impunes y de establecer las herramientas que permitan erradicarlo (1).

Con la sentencia emitida en 2009, por la Corte Interamericana de Derechos Humanos (CIDH) sobre el Caso González y otras (“Campo Algodonero”) vs. México, organizaciones civiles y defensoras de los derechos de las mujeres impulsaron la creación del tipo penal de feminicidio y el reconocimiento de las familias como víctimas indirectas de este delito. Así, en 2010 se dio inicio a la tipificación de este delito en México, siendo Guerrero y la CDMX los primeros estados en incluirlo en sus Códigos Penales; en 2012 fue incluido en el Código Penal Federal y posteriormente otros estados retomaron el tipo penal (3). Actualmente y conforme al Código Penal para el Distrito Federal, el feminicidio se define como el privar de la vida a una mujer por razones de género (4).

Respecto a las cifras de este delito, la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México (FGJCDMX) cuenta con reportes de incidencia delictiva mensuales y anuales, donde se presenta el número de carpetas de investigación y averiguaciones previas (en el caso de 2015), que fueron iniciadas por diversos delitos. Dado que la FGJCDMX reporta cifras de feminicidio a partir de 2018, en la tabla 1 se presentan los datos correspondientes a ese año y hasta mayo de 2023 (5).

De los datos reportados en la tabla 1, se desprende que el número de carpetas de investigación iniciadas incrementó de 2018 hasta 2020, presentando una disminución durante 2021 y volviendo a incrementar en 2022; sin embargo, se debe considerar que el número de feminicidios ocurridos cada año pueden ser mayores, ya que éstos son datos correspondientes a las carpetas de investigación iniciadas. Asimismo, el que no se cuenten con cifras previas al 2018 (considerando que el delito de feminicidio se tipificó en años anteriores en la CDMX) indica que la visibilización de este tema es reciente y que aún hace falta definir más parámetros para la recolección adecuada de datos.

**Tabla 1.** Carpetas de investigación iniciadas por del delito de feminicidio de 2018 hasta mayo de 2023 en la Ciudad de México.

Año	Carpetas de Investigación iniciadas
2018	43
2019	71
2020	78
2021	68
2022	75
Enero a mayo 2023	720

Los datos de incidencia delictiva correspondientes a los años 2015 y 2016 no contemplan el delito feminicidio y en 2017 se considera dentro del rubro de homicidios dolosos, sin distinción entre sexos. Asimismo, para reportar las cifras de 2022 y de enero a mayo de 2023, se realizó una suma de los datos de cada mes, ya que estos no cuentan con un informe delictivo anual.

## Niñas, niños y adolescentes como víctimas indirectas de feminicidio

El feminicidio es la máxima expresión de la violencia contra la mujer, la cual, se sustenta en la diferencia de poderes entre mujeres y hombres, siendo estos últimos quienes más lo ejercen. Esta desigualdad se legitima dentro del patriarcado como estructura social, el cual enseña y reproduce los mecanismos que permiten mantener el mismo orden social y, a su vez, mantiene a las mujeres y otros grupos vulnerables, tal como niñas, niños y adolescentes (NNA), en una posición inferior por medio de la violencia (6-8).

Cuando se investiga una situación de violencia es necesario realizar un análisis interseccional que permita evidenciar la relación entre la violencia y la vulnerabilidad; es decir, se debe considerar el contexto de la persona que es víctima de violencia, tomado en cuenta todos aquellos elementos que le caracterizan y le rodean, tales como el país, la cultura, la condición social, la orientación sexual, la discapacidad, la edad y todo aquel elemento que pudiera representar un factor de exclusión y desventaja frente a otros grupos de personas, colocándoles en una posición de vulnerabilidad (9).

Las niñas, niños y adolescentes, son personas que se encuentran en situación de vulnerabilidad principalmente, pero no exclusivamente, por su edad, ya que, frente a otras personas adultas pueden encontrarse en una dinámica adultocéntrica, la cual se caracteriza por la creencia de que las personas adultas son superiores por tener mayor edad. El adultocentrismo es aprendido en la familia y reforzado por las interacciones sociales, enseñando que las NNA se están preparando para ser adultos y adultas y, hasta que eso ocurra, podrán ser respetados e integrados plenamente en sociedad, por esta razón, no se les suele considerar como personas con capacidad de ejercer ciertos derechos (10).

Dentro de la dinámica adultocéntrica se encuentra el adultismo, concepto que refiere a aquellos comportamientos, acciones o lenguajes que limitan y cuestionan las capacidades de las NNA, lo que provoca que se sientan inferiores, menos inteligentes y menos capaces de tomar decisiones respecto a su vida, sus emociones o su entorno. En el momento que llegan a la vida adulta, el adultocentrismo, las prácticas adultistas y la dinámica de poder (entre NNA-adultos y mujeres-hombres) que observaron y experimentaron son reproducidas nuevamente. Así, el adultocentrismo, al igual que la violencia contra la mujer, encuentra su sustento en el patriarcado, dando lugar a una relación de poder desigual entre NNA y personas adultas, principalmente, con hombres adultos, quienes suelen sustentar el poder dentro de dinámicas familiares donde existe violencia (10).

Estas dinámicas presentes en la sociedad y en la familia, permiten legitimar diversas conductas violentas que afectan a NNA; un ejemplo de esto es el feminicidio como la máxima expresión de violencia y control sobre las mujeres, situación que, conforme lo determina el adultocentrismo, no considera las afectaciones que puedan sufrir las NNA que rodean a las víctimas, colocándoles en una posición de vulnerabilidad respecto de los hechos que acontecieron.

Previo a que ocurra un feminicidio, puede ocurrir que las NNA sean expuestas a observar o escuchar los actos de violencia que se ejercen contra sus madre o cuidadoras, e incluso, pueden ser víctimas directas de violencia en cualquiera de sus modalidades y ser utilizados como un medio para lastimar o castigar a sus madres o cuidadoras, es decir, sufrir violencia vicaria. Determinar el tipo de violencia a la que las NNA han sido expuestas previo a un feminicidio dependerá del contexto en el que se encontraban; es por ello que se debe realizar un análisis interseccional y tener presente que esta población, además de experimentar las conductas adultocéntricas y diversas formas de agresión, también son víctimas de la violencia de género que se ejerce contra sus madres o cuidadoras y, por tanto, experimentan sus consecuencias.

Una vez abordada la relación existente entre el feminicidio y NNA como víctimas indirectas, es preciso presentar los datos que se tienen en la CDMX sobre esta población. Dado que no se reportan dichos datos en fuentes abiertas, el 13 de junio de 2023 se realizaron diversas solicitudes sobre las “Cifras de niñas, niños y adolescentes como víctimas indirectas del delito de feminicidio, con datos de 2019 hasta junio de 2023” en la Plataforma Nacional de Transparencia (PNT) a las siguientes instituciones:

- Fiscalía General de la Ciudad de México (FGJCDMX).
- Comisión Ejecutiva de Atención a Víctimas de la Ciudad de México (CEAVI CDMX).
- Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia de la Ciudad de México (DIF CDMX).

Las respuestas a la solicitud se presentan en la tabla 2 y tabla 3 (11-13).

**Tabla 2.** Respuesta de CEAV CDMX y DIF CDMX sobre NNA como víctimas indirectas de feminicidio en la CDMX

Institución	Respuesta
CEAV CDMX	Institución no competente 149 NNA desde septiembre de 2020 hasta junio de 2023
DIF CDMX	

La solicitud se realizó a partir de 2019 considerando que en ese año se creó la Fiscalía especializada de Investigación del delito de Feminicidio en la CDMX.

**Tabla 3.** Respuesta de FGJCDMX sobre NNA como víctimas indirectas de feminicidio en la CDMX.

Año	Hombres	Mujeres
2020	20	14
2021	51	46
2022	17	30
Enero al 15 de junio de 2023	6	5

La solicitud se realizó a partir de 2019 considerando que en ese año se creó la Fiscalía especializada de Investigación del delito de Feminicidio en la CDMX.

Con las respuestas a las solicitudes se puede determinar que la FGJCDMX es la institución que tiene a su cargo la recopilación de la información solicitada, particularmente, por parte la fiscalía especializada en el delito de feminicidio. Sin embargo, solamente existen datos de 2020 hasta la actualidad, a pesar de que el delito fue tipificado desde el año 2012; aunado a ello, no se reportan los datos considerando otras variables como la edad o total de datos por mes, mismas que podrían ser retomadas para llevar a cabo la recolección y reporte de datos. Lo anterior puede relacionarse con que la atención al tema de NNA como víctimas indirectas de feminicidio comenzó a visibilizarse hace un par de años gracias a la labor realizada por colectivas feministas y con la llegada del Protocolo Nacional de Atención Integral a Niñas, Niños y Adolescentes en Condición de Orfandad por Feminicidio en 2021.

## El derecho a la reparación integral

Desde el punto de vista jurídico y conforme a la Ley de Víctimas para la Ciudad de México, en su artículo 3, fracción XXXVIII, una víctima es aquella “Persona física o colectivo de personas, que directa o indirectamente ha sufrido daño o el menoscabo de sus derechos producto de un hecho victimizante” (14), particularmente, las víctimas indirectas se definen en el mismo artículo, fracción XL como “Familiares o aquellas personas físicas dependientes de la víctima directa



que tengan una relación inmediata con ella” (14). Es a partir de la definición anterior que se puede determinar que las NNA que se encontraban bajo el cargo de una mujer víctima de feminicidio, serán, desde el punto de vista jurídico, víctimas indirectas. Dicho reconocimiento es relevante, desde el mencionado punto de vista, porque es lo que les permitirá hacer efectivo su derecho a la reparación integral.

Cuando una persona es víctima de un delito, se dice que ha sufrido un daño, el cual se define como una afectación a la esfera de derechos, causada por un delito o violación a sus derechos humanos, este daño puede ser clasificado como material o inmaterial:

- Daño inmaterial: sufrimientos y aflicciones causados a las víctimas, menoscabo de valores significativos para las personas y alteraciones de carácter no pecuniario (14, art. 3). Este tipo de daño no es cuantificable, por lo que comprende las afectaciones psicológicas y emocionales (15).
- Daño material: afectaciones patrimoniales que pueden causar la pérdida o detrimento del ingreso de la víctima o los gastos efectuados con motivo del delito (14, art. 3). Este tipo de daño puede ser de tipo emergente, entendido como el deterioro del patrimonio de la víctima; o lucro cesante, el cual refiere a los ingresos que la víctima dejó de recibir como consecuencia del delito o violación a sus derechos humanos (15).

Así, una persona que ha sufrido un daño cuenta con el derecho humano a que se le repare. Este derecho refiere al conjunto de medidas que buscan la restitución de derechos, mejorar la situación de las personas que han sido víctimas de un delito y promover reformas que estén encaminadas a la no repetición (16). En un primer momento, este derecho fue reconocido a nivel internacional en el artículo 63 de la Convención Americana de Derechos Humanos, donde dispone lo siguiente:

*“Cuando decida que hubo violación de un derecho o libertad protegidos en esta Convención, la Corte dispondrá que se garantice al lesionado en el goce de su derecho o libertad conculcados. Dispondrá, si ello fuera procedente, que se reparen las consecuencias de la medida o situación que ha configurado la vulneración de esos derechos y el pago de una justa indemnización a la parte lesionada”* (sic., 17)

Dicho artículo fue retomado por la Corte Interamericana de Derechos Humanos (CIDH), para señalar, a través de sus sentencias, que existe una obligación internacional de reparar las violaciones a derechos humanos, así como una necesidad de reconocerlo como un principio del derecho internacional. Posteriormente, el concepto evolucionó a una visión más amplia, donde no solo fuera visto como una compensación económica, sino como una herramienta

capaz de mejorar las condiciones de la víctima en todos los aspectos, por lo que comenzó a denominarse reparación integral (18).

Por otra parte, la Resolución de las Naciones Unidas titulada “Principios y directrices básicos sobre el derecho de las víctimas de violaciones manifiestas de las normas internacionales de derechos humanos y de violaciones graves del derecho internacional” (Principios y directrices de reparación) (19), dispone que, ante violaciones de derechos humanos, debe existir una reparación adecuada, rápida y efectiva, misma que debe ser proporcional a la gravedad de las violaciones y al daño sufrido. De igual forma, establece la obligación del estado de conceder la reparación integral, establecer programas nacionales y otorgarla en los ámbitos de restitución, indemnización, rehabilitación, satisfacción y garantías de no repetición.

Aunado a la responsabilidad internacional, en México la reparación integral es un derecho que se encuentra reconocido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en su artículo 20, apartado C, fracción IV, estableciendo que “la víctima u ofendido tiene derecho a que se le repare el daño” (20), por lo tanto, el estado mexicano tiene la obligación de permitir a las víctimas ejercer este derecho. Después de la Constitución Política, este derecho se reconoce en otras leyes y códigos de la Ciudad de México (4, 14, 21); algunos de ellos se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4.** Leyes y Códigos de la Ciudad de México que reconocen el derecho a la reparación integral.

Ley o código	Artículo
Constitución Política de la Ciudad de México	5, apartado C
Ley de Víctimas para la Ciudad de México	6, fracción VI
Código Penal para el Distrito Federal	45

El Código Nacional de Procedimientos Penales (22), establece en su artículo 131 que es obligación del ministerio público recabar los elementos necesarios para determinar el daño, cuantificarlo y solicitar el pago de la reparación, sin perjuicio de que la víctima pueda solicitarlo directamente. Una vez que el ministerio público ha recabado los elementos necesarios, conforme al artículo 401, corresponde al juez determinar si la reparación será otorgada.

Para determinar cómo se aplicará la reparación integral, la Ley de Víctimas para la CDMX (14), establece que ésta comprende la aplicación de diversas medidas, mismas que se conforman de otros mecanismos para su ejecución, las cuales deberán ser elegidas por la autoridad correspondiente y conforme al caso en cuestión. Las medidas que conforman la reparación integral se presentan en la figura 1.

Al elaborar el plan de reparación, es necesario definir qué tipo de daño o daños han sufrido, en este caso, las NNA como víctimas indirectas de feminicidio,

para ello, será necesario realizar un análisis interseccional de las circunstancias que rodean al caso y observar las medidas de reparación desde un enfoque integral, es decir, deberán estar relacionadas con los hechos ocurridos, buscar que sean coherentes y que sean aplicadas de manera consecutiva. Por ejemplo, si se determina la aplicación de una medida de satisfacción por medio de una disculpa pública, pero ésta pone en peligro a la víctima, se deberá cuestionar si se relaciona con el delito y es coherente con la forma de restitución de derechos que requiere la víctima. Asimismo, si se determina esta misma medida, pero existe una demora excesiva en su aplicación, no se estará cumpliendo con el plan de reparación de manera consecutiva.

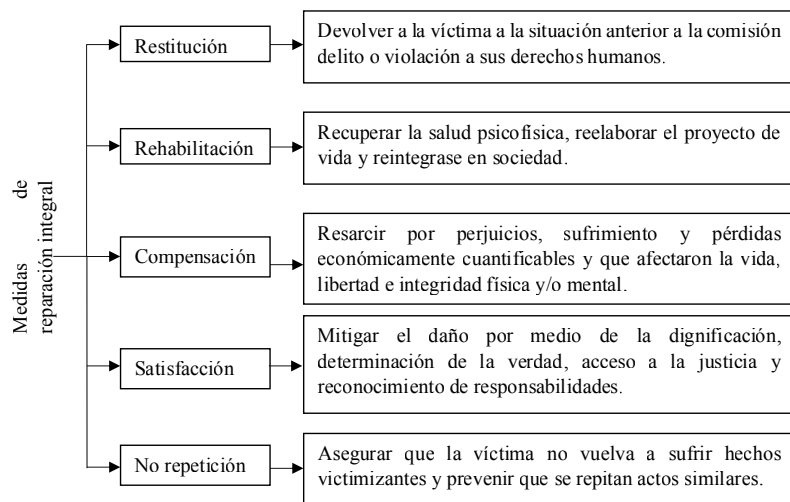


Figura 1. Medidas que conforman la reparación integral.

## Principios indispensables para la reparación integral en casos que involucren a niñas, niños y adolescentes

La Ley de Víctimas para la CDMX se rige por diversos principios que deben ser aplicados para todos los casos, sin embargo, dos de ellos serán retomados por su relación con las NNA, estos principios son el interés superior de la niñez y el de enfoque diferencial y especializado.

El principio de interés superior de la niñez ha sido reconocido a nivel internacional y nacional como aquel que deberá ser aplicado en la toma de decisiones que involucren NNA y, en caso de existir diversas interpretaciones, se deberá elegir aquella que abarque de manera plena este principio (14, art. 5). Es decir, ante la toma de decisiones para NNA, se deberán evaluar y ponderar todas las repercusiones que estas puedan tener, con la finalidad de salvaguardar sus derechos plenamente.

Este principio se encuentra reconocido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el artículo cuarto, párrafo nueve, mismo que establece que “*en todas las decisiones y actuaciones del Estado se velará y cumplirá con el principio del interés superior de la niñez, garantizando de manera plena sus*

derechos” (20). Por su parte, el artículo cuarto de la Constitución Política de la CDMX (21), apartado B, párrafo cuarto, señala que las autoridades deberán atender, entre otras cosas, el principio de interés superior de la niñez.

Por otra parte, el principio de enfoque diferencial y especializado reconoce la existencia de grupos que poseen características particulares, tales como la edad, el sexo, el origen étnico, entre otras. Este principio menciona que algunos daños requieren atención especializada y por ello, las autoridades deberán ofrecer garantías especiales y medidas de protección a grupos que se encuentren mayormente expuestos a sufrir violaciones a sus derechos humanos; asimismo, establece que algunos daños requieren tratamiento especializado para permitir la rehabilitación de las víctimas (14, art. 5)

Ambos principios deben ser considerados al momento de elaborar un plan de reparación integral para NNA como víctimas indirectas de feminicidio, ya que, instan a las autoridades a tomar decisiones encaminadas a otorgar el mayor beneficio a las NNA, considerando todos aquellos elementos que caracterizan a esta población y atendiendo las necesidades particulares de cada caso, información que podría ser retomada de un análisis interseccional.

La reparación integral, además de ir acompañada de estos principios, debe complementarse con el pleno ejercicio del derecho de las NNA a participar, el cual, señala que tienen derecho a ser escuchados y tomados en cuenta en los asuntos que les involucren (23). Ello, permitirá que las NNA sean validadas y escuchadas en cuanto a sus necesidades y perspectiva de lo ocurrido, lo que se traducirá en la presentación de planes de reparación integral que incluyan la perspectiva de las víctimas y no solamente la de las personas encargadas de su elaboración.

## El perfil de los y las científicas forenses en la reparación integral para niñas, niños y adolescentes víctimas indirectas de feminicidio

La ciencia forense es “una ciencia aplicada, basada en el estudio de la prueba pericial o indicio y fundamentada en principios científicos de otras ciencias como la física, la química, la biología y la medicina, entre otras” (24), cuyo objetivo consiste en “la investigación de un suceso basándose en las pruebas recogidas para poder llegar a la verdad de los acontecimientos” (24). Es decir, la ciencia forense es un conjunto de conocimientos obtenido a partir del estudio de los indicios generados a partir de la comisión de un posible hecho delictivo; este estudio se realiza con la aplicación de diversas disciplinas y tiene como objetivo coadyuvar en la procuración y administración de justicia.

Para la aplicación de la ciencia forense durante una investigación, se puede solicitar la intervención de los y las científicas forenses, quienes cuentan con un perfil de formación multi e interdisciplinario, el cual, les otorga las herramientas necesarias para generar conocimiento en torno a una investigación

y para integrar la información presentada por diversas disciplinas forenses, a fin de plantear soluciones y coadyuvar con las diversas autoridades que participan dentro de una investigación.

Al ocurrir un hecho presuntamente delictivo se da lugar a una investigación donde se estudian diferentes elementos relacionados con los hechos; a partir de ello, se cuenta con una carpeta de investigación o averiguación previa si se tratase de un caso iniciado en el sistema mixto, antes de la implementación total de la reforma al sistema de justicia penal; las cuales contendrán toda la información generada durante la investigación, como entrevistas, dictámenes, declaraciones, informes, entre otros documentos que pueden ser estudiados desde la perspectiva forense (25).

En este sentido, la ciencia forense puede incidir en temas de reparación integral no solo desde el estudio de la carpeta de investigación o averiguación previa, sino generando otros elementos que puedan ser retomados al momento de intervenir en el área mencionada, tales como:

- **Análisis de contexto:** herramienta cuyo objetivo es estudiar e identificar las circunstancias que rodean un hecho particular, en un determinado lugar, tiempo y espacio. Ello permite comprender los hechos de manera integral, es decir, sin aislarlo de otros fenómenos u otros eventos que le rodean (26).
- **Análisis psicosociales:** herramienta que permite comprender los comportamientos y emociones de las personas en lo individual o a nivel colectivo, sin que sean aislados de su contexto social y cultural. Lo anterior permite comprender la experiencia de las víctimas y prepararse para los procesos judiciales y de acompañamiento (27).
- **Análisis de vulnerabilidad:** herramienta cuya función es evaluar los riesgos y vulnerabilidades a las que se enfrentan las personas en un contexto determinado, así como la capacidad para sobrellevar y superar las adversidades, en caso de que se presenten (28). El identificar las situaciones de riesgo ayuda a otorgar a las víctimas una atención integral y, en caso de ser necesario, evaluar la aplicación de medidas de protección.

Considerando lo anterior, se plantea la posibilidad de que, si los y las científicas forenses cuentan con análisis como los mencionados anteriormente, entonces podrán elaborar planes de reparación que contemplen el contexto y las necesidades de las víctimas de manera integral, privilegiando un enfoque especializado y diferenciador, apuntalado en el conocimiento que genera la ciencia forense y atendiendo la información obtenida a partir de otros análisis. Lo anterior, daría lugar a que las personas con este perfil trabajen a la par de las autoridades responsables de solicitar y aprobar la reparación integral, auxiliando al ministerio público en la determinación del daño, definiendo las medidas de reparación aplicables e incluso auxiliando al juez para determinar si procede la reparación en los términos sugeridos.

Aunado a lo anterior, se debe considerar que dado el conocimiento multi e interdisciplinario y las habilidades para trabajar con otras disciplinas de los y las científicas forenses, no se debe descartar la participación de otras disciplinas en esta etapa, ya que ello permitiría elaborar un plan de reparación integral que cubra las necesidades de la víctima de manera eficaz, integrando las observaciones emitidas por cada disciplina (25).

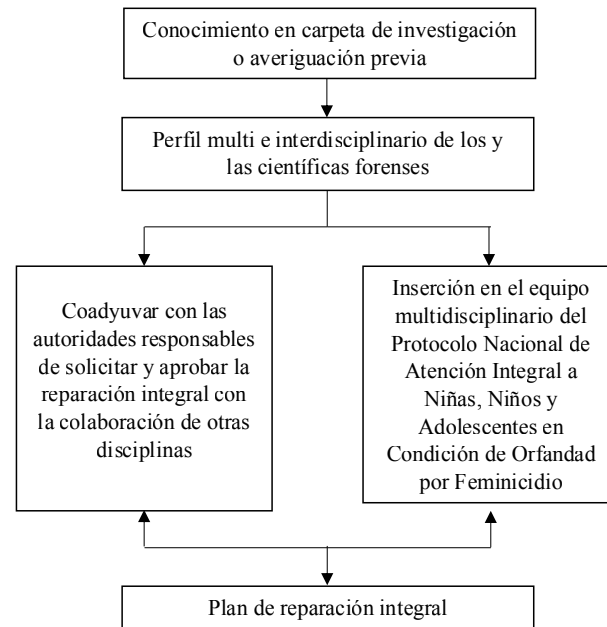
En materia de NNA víctimas indirectas de feminicidio, el 04 de agosto de 2021 se publicó el “*Protocolo Nacional de Atención Integral a Niñas, Niños y Adolescentes en Condición de Orfandad por Feminicidio*” (29), emitido por la Secretaría de Salud y el Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia, el cual, establece una ruta de atención para identificar, atender y restituir los derechos NNA en condición de orfandad por feminicidio. Este protocolo establece la creación de un equipo multidisciplinario conformado por profesionales en psicología, medicina, trabajo social y derecho, cuya labor va encaminada a identificar los derechos vulnerados, analizar las circunstancias de cada caso, señalar si es necesario que las NNA reciban atención médica, determinar si se deben aplicar medidas de protección y elaborar un plan de restitución de derechos.

Si bien este protocolo es nacional, tiene un ámbito de aplicación y es orientativo para autoridades federales, locales y municipales; en este sentido, también es aplicable en casos ocurridos en la CDMX. Asimismo, el protocolo aborda la elaboración de un plan de atención integral, el cual, engloba a la reparación integral, dado que tienen el mismo objetivo: la restitución de derechos. Dada la naturaleza interdisciplinaria del plan de atención integral, es factible considerar, la inserción del perfil de los y las científicas forenses en la labor realizada por el equipo multidisciplinario (25).

En síntesis, en el presente artículo se plantean dos propuestas para la elaboración de planes de reparación integral, ambos parten del estudio de la averiguación previa o carpeta de investigación donde se identifiquen NNA víctimas indirectas de feminicidio, con la colaboración de los y las científicas forenses, quienes, por una parte pueden coadyuvar con agentes del ministerio público, jueces y otras disciplinas, o por otra parte, insertarse en el equipo multidisciplinario definido en el Protocolo Nacional de Atención Integral a Niñas, Niños y Adolescentes en Condición de Orfandad por Feminicidio, para elaborar un plan de reparación integral. Ambas propuestas se resumen en la figura 2.

Es importante que durante la elaboración de un plan de reparación no se olvide el abordaje interseccional y atender el principio de interés superior de la niñez junto con el principio de enfoque diferencial y especializado, buscando en todo momento el mayor beneficio para la víctima y, sobre todo, permitir que ejerza su derecho a la participación, para poder atender las necesidades que sean expresadas por la víctima. Asimismo, se debe evitar caer en conductas adultocéntricas que podrían mermar la forma en la que se comprenden las

circunstancias del caso y las necesidades de la víctima ante los hechos que haya experimentado; es por ello que resulta necesario contar con la participación de personal capacitado en materia de derechos de NNA.



**Figura 2.** Propuestas para la inserción de los y las científicas forenses en planes de reparación integral.

Finalmente, se debe dar lugar a reflexiones que vayan más allá del aspecto normativo y que permitan la participación activa de las víctimas dentro de un proceso, ya que son quienes deben quedar satisfechas con el resultado, sobre todo, se insta a reflexionar que en materia de reparación integral para estos casos no será posible devolver a la víctima a la situación anterior al feminicidio de sus madres o cuidadoras. Sin embargo, las autoridades tienen la obligación de restituir sus derechos y, dentro de lo posible, colaborar en la elaboración de un nuevo proyecto de vida con el que las víctimas se encuentren conformes. Asimismo, no se descarta que la elaboración de planes de reparación integral sea exclusiva para casos de víctimas indirectas de feminicidio, ya que existen diversos delitos que dejan numerosas víctimas que también tienen derecho a la reparación integral, sin embargo, todas requerirán el estudio particular de cada tipo de delito y las circunstancias de cada caso.

## Conclusiones

1. La violencia contra la mujer y el feminicidio son actos de violencia que también afectan a NNA, al observarla o experimentarla de manera directa en cualquiera de sus formas. Es por ello que los casos de feminicidio donde se identifiquen NNA como víctimas indirectas deben ser analizados desde el

- punto de vista interseccional y con enfoque especializado y diferenciador; a fin de entender la complejidad de cada caso de forma integral y estructural.
2. La visibilización del tema de NNA como víctimas indirectas de feminicidio es reciente, por lo que la información es escasa, sobre todo en lo que respecta a datos de esta población, lo que pone de manifiesto la necesidad de sistematizar la recolección de datos y la presentación de los mismos.
  3. La reparación integral es un derecho de las víctimas que busca lograr la restitución de derechos y requiere del estudio interseccional para elaborar un plan de reparación integral que vaya de acuerdo con las circunstancias de cada caso. Para los casos que involucren NNA, se deberá aplicar el principio de interés superior de la niñez, el principio de enfoque diferencial y especializado y garantizar el pleno ejercicio del derecho a la participación, generando planes de reparación efectivos.
  4. Los y las científicas forenses cuentan con habilidades para desarrollar otros elementos durante una investigación, los cuales podrán ser retomados para la elaboración de planes de reparación integral que permitan auxiliar a las autoridades responsables de solicitar y autorizar las medidas de reparación integral o trabajando en los planes de atención integral elaborados por el equipo multidisciplinario conforme al Protocolo Nacional de Atención Integral a Niñas, Niños y Adolescentes en Condición de Orfandad por Feminicidio.
  5. La propuesta del presente artículo puede aplicarse para elaborar planes de reparación de otros delitos; sin embargo, es necesario estudiar las características particulares de cada conducta delictiva para comprender los factores que le rodean y posteriormente, aplicarlo conforme a las circunstancias que rodean a las víctimas.
  6. El estudio de estos casos da lugar a que exista innovación jurídica, acompañada de avances en la legislación, evidenciando las violencias estructurales y dando lugar a creación de planes de reparación innovadores e integrales; lo que, en conjunto, permitirá prevenir la comisión de conductas delictivas como el feminicidio, mediante la visibilización de estos casos, señalando la necesidad de una mayor atención especializada y generando herramientas que permitan combatir la impunidad y atender a las víctimas de manera oportuna.

## Bibliografía

1. Olamendi P. Feminicidio en México México: INMUJERES; 2016; p. 31-33.
2. Lamus D. La política sexual del feminicidio (aportes para su conceptualización). En Lamus D, Acevedo O, editores. Diálogos de Saberes Sobre Feminicidios y Violencias Hacia las Mujeres en América Latina. Colombia: Fundación Mujer y Futuro; s.f. p. s.p.
3. Mejía M, García G. Informe de implementación del tipo penal de feminicidio en México: desafíos para acreditar las razones de género 2014-2017 México: Observatorio Ciudadano Nacional del Feminicidio; 2018; p. 15-17.
4. Congreso de la Ciudad de México. Código Penal para el Distrito Federal. Publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 16 de julio de 2002; última reforma publicada en la GOCDMX el 01 de marzo de 2023.
5. Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México. Estadísticas delictivas; 2023 [fecha de consulta: 11 de julio de 2023].



6. Varela N. *Feminismo para principiantes*. Tercera edición ed. Barcelona: Warner Books; 2019, s.p.
7. Martínez A. *Masculinidad y feminismo: una visión integral*. En Sagot M. *Feminismos, pensamiento crítico y propuestas en América Latina*. Colombia: Fundación Mujer y Futuro; 2017. p. 173-190. <https://doi.org/10.2307/j.ctv253f52b.13>
8. Lagarde M. *El Feminismo en mi vida. Hitos, claves y topías* México: INMUJERES; 2012, p. 22-34.
9. Beramendi C, Fainstain L y Tuana, A. "Mirando las violencias contra las mujeres desde la perspectiva interseccional. Desafíos teóricos y metodológicos para su conceptualización y medición. En Guajardo G y Rivera, C, editores. *Violencias contra las mujeres: desafíos y aprendizajes en la Cooperación Sur-Sur en América Latina y el Caribe*. Chile: Ediciones FLACSO; 2015. p. 55-80.
10. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). *Superando el adultocentrismo* Rodríguez S, editor. Chile; 2013.
11. Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia. Respuesta a Solicitud de Información Pública. Oficio de respuesta a solicitud en Plataforma Nacional de Transparencia. México, Dirección General de Coordinación de la Unidad de Transparencia; 23 de junio de 2023.
12. Comisión Ejecutiva de Atención a Víctimas de la Ciudad de México. Respuesta a Solicitud de Información Pública. Oficio de respuesta a solicitud en Plataforma Nacional de Transparencia. México, Unidad de Transparencia; 14 de junio de 2023.
13. Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México. Respuesta a Solicitud de Información Pública. Oficio de respuesta a solicitud en la Plataforma Nacional de Transparencia. México, Fiscalía de Investigación del delito de Femicidio; 16 de junio de 2023.
14. Congreso de la Ciudad de México. *Ley de Víctimas para la Ciudad de México*. Publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 19 de febrero de 2018; última reforma publicada en la GOCDMX el 29 de septiembre de 2020 [fecha de consulta: 10 de julio de 2023].
15. Pinacho J. *El derecho a la reparación del daño en el Sistema Interamericano México: Comisión Nacional de Derechos Humanos*; 2019; p. 70-73.
16. Martín C. *Diálogos sobre la reparación. Que reparar en los casos de violaciones de derechos humanos Ecuador: Ministerio de Justicia y Derechos Humanos*; 2009; p. 173.
17. Organización de los Estados Americanos (OEA). *Convención Americana sobre Derechos Humanos (Pacto de San José)*; 1978 [fecha de consulta: 13 de julio de 2023].
18. Calderón J. *La reparación integral en la jurisprudencia de la Corte Interamericana de Derechos Humanos: estándares aplicables al nuevo paradigma mexicano*. En Ferrer E, Caballero JL, Steiner C, (coords.). *Derechos Humanos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: Comentarios y Jurisprudencia Constitucional e Interamericana*. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM y Suprema Corte de Justicia de la Nación; 2013. p. 147-219.
19. Organización de las Naciones Unidas. *Principios y directrices básicos sobre el derecho de las víctimas de violaciones manifiestas de las normas internacionales de derechos humanos y de violaciones graves del derecho internacional humanitario a interponer recursos y obtener reparaciones*; 60/147 Resolución aprobada por la Asamblea General el 16 de diciembre de 2005 [fecha de consulta: 13 de julio de 2023].
20. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917; última reforma publicada DOF 06-06-2023 [fecha de consulta: 13 de junio de 2023].
21. Congreso de la Ciudad de México. *Constitución Política de la Ciudad de México*. Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 5 de febrero de 2017; última reforma publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 31 de agosto de 2020 [fecha consulta: 14 de junio de 2023].
22. Cámara de Diputados del H Congreso de la Unión. *Código Nacional de Procedimientos Penales. Nuevo Código publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de marzo de 2014; última reforma publicada DOF 25-04-2023* [fecha de consulta: 15 de junio de 2023].
23. Congreso de la Ciudad de México. *Ley de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes de la Ciudad de México*.. Publicado en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 12 de noviembre de 2015; última reforma publicada en la GOCDMX el 12 de junio de 2023; art. 72 [fecha de consulta: 15 de junio de 2023].
24. García J. *Introducción a las ciencias forenses España: Fundación para la Universitat Oberta de Catalunya; s.f., p. 7.*
25. Carbonell J. *Análisis forense sobre la reparación integral a niñas, niños y adolescentes como víctimas indirectas del delito de feminicidio en la CDMX México: UNAM; Tesis de licenciatura; 2023.*
26. Vargas C, Hilda C. *Violaciones, derechos humanos y contexto: herramientas propuestas para documentar e investigar*. México: FLACSO, International Bar Association; 2017, p. 34.
27. Martín C. *Manual sobre perspectiva psicolocial en la investigación de derechos humanos España: Hegoa y CEJIL; 2010, p. 11.*
28. *Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. Análisis de vulnerabilidad y capacidad. Caja de herramientas con fichas de referencia Suiza; 2008, p. 6.*
29. *Secretaría de Salud y Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia. Protocolo Nacional de Atención Integral a Niñas, Niños y Adolescentes en Condición de Orfandad por Femicidio; 2021* [fecha de consulta: 17 de julio de 2023].

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR ESTUDIANTES

# La importancia del análisis multidisciplinario en la investigación de feminicidios en México

Diego Armando Cuautle Rojas<sup>1</sup>✉, Ana Pamela Romero Guerra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ciencia Forense, Escuela Nacional de Ciencias Forenses, Universidad Nacional Autónoma de México.

✉ diegoacautler@gmail.com

## Datos del manuscrito

Cita: Cuautle DA, Romero AP. 2023. La importancia del análisis multidisciplinario en la investigación de feminicidios en México. Revista Digital de Ciencia Forense. 2(3): 50-66 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sánchez.

Recibido: 27 julio 2023.

Aceptado: 20 septiembre 2023.

Publicado: 28 octubre 2023.

## Resumen

El feminicidio es un problema que representa una grave violación a derechos humanos que trae consigo grandes repercusiones sociales, políticas, económicas y familiares. Debido a la naturaleza compleja que posee el delito para su correcta investigación, diversos organismos de derechos humanos como la Oficina Regional para América Central del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos (OACNUDH) y ONU Mujeres han señalado que la muerte violenta de mujeres por razones de género requiere de una intervención multidisciplinaria y holística de los datos obtenidos en la investigación, no sólo para aplicar los principios de debida diligencia en investigaciones penales, sino también para proporcionar elementos que apoyen a futuros análisis de delitos. En este trabajo se hace alusión a los elementos más relevantes de las áreas más comunes sobre las cuales se puede realizar una solicitud de intervención para un caso de feminicidio, tal como lo es la criminalística, la medicina, la psicología y la antropología. Cada una de estas áreas tiene determinados alcances y objetos de estudio que contribuyen al abordaje y entendimiento de la violencia de género, con énfasis en la que es cometida en contra de niñas y mujeres. Objetivo: Describir de manera general las principales áreas de intervención pericial que contribuyen a la investigación de feminicidios en México, así como sus principales labores, la información que estas pueden ofrecer y la importancia de análisis holísticos y multidisciplinarios.

**Palabras clave:** feminicidio, lesiones, medicina, psicología, antropología, investigación.

## Abstract

Femicide is a problem that represents a serious violation of human rights that brings with it great social, political, economic, and family repercussions. Due to the complex nature of the crime for its correct investigation, various human rights organizations such as the Regional Office for Central America of the United Nations High Commissioner for Human Rights (OHCHR) and UN Women have indicated that the violent death of women for reasons of gender requires a multidisciplinary and holistic intervention of the data obtained in the investigation, not only to apply the principles of due diligence in criminal investigations, but also to provide elements that support future analysis of crimes. This work refers to the most relevant elements of the most common areas in which a request for intervention can be made for a case of femicide, such as criminology, medicine, psychology, and anthropology. Each of these areas has certain scopes and objects of study that contribute to the approach and understanding of gender violence, with emphasis on that committed against girls and women. Objective: Describe the main areas of expert intervention that contribute to the investigation of femicides in Mexico, as well as their main tasks, the information they can offer and the importance of holistic and multidisciplinary analyses.

**Keywords:** Femicide, injuries, medicine, psychology, anthropology, research.

## Introducción

El feminicidio es un término que ha sido empleado a través de diversas disciplinas para describir la privación de la vida de mujeres por razones de género. Este concepto fue denominado para diferenciar entre el homicidio de una mujer y la muerte de una mujer por el hecho de serlo. Aunque la línea que separa estos delitos podría parecer sutil, la realidad revela que hay todo un contexto de violencia de género -personal, social, sistémica- que los diferencia. Es debido a los contextos a los que se asocia y las condiciones de vulnerabilidad que representa para las víctimas que es entendido como la expresión más grave y extrema de discriminación contra las mujeres (1).

No obstante, el concepto de feminicidio va más allá de la esfera legal, extendiendo su alcance hacia el campo científico y social. Este fenómeno se convierte en un punto focal de estudio en diversas disciplinas, incluyendo la medicina y la antropología, que buscan entender y abordar las raíces profundas de la violencia de género. El feminicidio no solo es un delito que requiere atención y acción por parte de la sociedad y las autoridades, sino que también sirve como un espejo que refleja las dinámicas de poder, la discriminación y la desigualdad que persisten en nuestra sociedad que permiten, fomentan e invisibilizan este tipo de violencia. En este sentido, su estudio y comprensión son fundamentales para erradicar esta manifestación extrema de violencia de género y promover la igualdad y equidad de género en todos los aspectos de la vida de todas las personas.

En México y el mundo, diversos protocolos han sido desarrollados y puestos en práctica para la investigación de delitos de género en contra de mujeres y niñas, debido a las condiciones particulares de vulnerabilidad social que este grupo puede resentir. Entre los que se destacan la Guidelines for medico-legal care for victims of sexual violence y el Modelo de protocolo latinoamericano de investigación de las muertes violentas de mujeres por razones de género femicidio/feminicidio (2,3). Es una realidad que diversos organismos encargados de la protección de los derechos humanos reconocen que el feminicidio es un fenómeno complejo que no puede ser debidamente observado por una sola disciplina, pues las limitaciones de esta impiden que se obtengan todas las respuestas que se requieren no solo para la resolución de casos, sino también para su prevención.

A lo largo de esta investigación se describen las distintas disciplinas periciales que por su naturaleza pueden intervenir en la investigación de un delito de feminicidio. Dentro de estas disciplinas se recalca el rol y los alcances que cada una de estas posee, asimismo, se enfatiza la importancia de realizar análisis con perspectiva de género para promover un mejor y más eficiente acceso a la justicia, así como la aportación de datos que coadyuven a la realización de políticas públicas para la prevención de la violencia de género.

### *Disciplinas intervinientes*

Según la naturaleza de cada delito, se requerirá la colaboración de diversas disciplinas para asistir al Derecho en la tipificación de la conducta delictiva, en la investigación y en la identificación de los responsables. El feminicidio, siendo un delito de gran complejidad, demanda la participación de múltiples disciplinas en el análisis de los indicios para determinar si se trata de un delito motivado por cuestiones de género. Entre estas disciplinas se incluyen la criminalística, la medicina forense, la antropología social y forense, así como la psicología

## Investigación criminalística con perspectiva de género

La criminalística es una disciplina que se enfoca en la investigación e interpretación de evidencia física relacionada con un hecho, por lo que desempeña un papel esencial en la atención de delitos género al marcar la pauta que las siguientes disciplinas van a intervenir (4).

En una práctica adecuada, la criminalística es la primera área del conocimiento en tener contacto con los indicios y demás elementos físicos de importancia en el hecho. Desde la observación de la escena para la formulación de las primeras hipótesis hasta el procesamiento del material recolectado, la criminalística tiene como función preservar la integridad de los indicios para que la información extraída de sus análisis posteriores sea lo más exacta y confiable posible. Para que este proceso sea llevado a cabo normalmente se emplea un sistema de registro denominado cadena de custodia, el cual permite conocer a la persona investigadora y demás disciplinas forenses la trazabilidad de los indicios (4,5).

El estándar básico de intervención de una persona experta en criminalística en el lugar de intervención es: a) evaluación, b) observación, c) documentación, d) búsqueda, e) recolección, f) transporte, g) análisis (4). Este orden puede verse modificado y tener otros nombres con respecto a las legislaciones y estándares de cada país, pero en esencia el principio es el mismo, en caso de que este proceso falle, es posible que los resultados obtenidos pudiesen verse comprometidos, así como su admisibilidad como un elemento probatorio para un juzgado o tribunal (5).

Además de esta serie de acciones que concatenadas representan la intervención y procesamiento del lugar, la persona experta en criminalística puede llevar a cabo dictámenes en mecánica de hechos, el cuál es un estudio que se realiza para representar con base en los diversos resultados de periciales la secuencia de eventos que condujo a un resultado de importancia en los hechos, como lo pudo ser la privación de la vida de una persona o un robo (4,6).

Debido a que las condiciones de vulnerabilidad varían de persona a persona, se requiere que las investigaciones sean profundas y detalladas, además

de multidisciplinarias, pues no solo se deben considerar el análisis de la evidencia física, sino también el contexto social que rodea el hecho que se investiga, además de una metodología analítica enfocada en conocer la verdad y procurar los derechos humanos (2,5,6).

Esta metodología de análisis se le denomina perspectiva de género e implica un enfoque específico en la comprensión y el abordaje de los delitos que afectan de manera desproporcionada a personas debido a su género, y para esta investigación se enfatizan las condiciones de violencia que sufren las mujeres (2).

La perspectiva de género en la criminalística implica una visión específica en la comprensión y el abordaje de los delitos que afectan de manera desproporcionada a personas, en particular, las mujeres. En este caso, se aplica con principios de objetividad señalando que en ocasiones se pueden dejar pasar elementos de importancia forense debido a los prejuicios que algunas personas investigadoras pueden tener, no solo en la criminalística, sino en otras áreas de intervención pericial (2,7).

## Medicina forense

Dado que el derecho penal requiere de múltiples áreas del conocimiento y disciplinas para poder establecer los elementos probatorios que escapan de su alcance, cuando se pretende investigar delitos contra la vida y la integridad corporal de las personas es indispensable la actuación de personal experto en medicina forense para la elaboración de informes, certificados y dictámenes que coadyuven proporcionando información a la persona investigadora (8).

Para contribuir a la buena praxis de la persona especialista en medicina forense, la criminalística puede proporcionar información relevante que puede obrar en los dictámenes medicolegales, en caso de existir observaciones o alteraciones que deban considerarse, estos pueden ser abstraídos por quien realiza los estudios para emitir mejores conclusiones.

Sabemos en la práctica las personas expertas en medicina forense no siempre pueden desempeñar su labor debido a solicitudes de estudios impertinentes e imposibles de realizar materialmente. En los casos de feminicidio es importante señalar la importancia de dos estudios que se deben llevar a cabo para obtener parte de la información necesaria que coadyuvará a las investigaciones posteriores: La necropsia y la mecánica de lesiones (9).

La necropsia es un procedimiento que debe realizarse como parte de la investigación de muerte violenta de cualquier persona, para el caso de la muerte violenta de mujeres es necesario que tenga pautas particulares debido a las condiciones de vulnerabilidad que la víctima pudiese padecer. En México, la Suprema Corte de Justicia de la Nación y la Corte Interamericana de Derechos Humanos señalan la necesidad de investigar con perspectiva de género todas las muertes violentas de niñas y mujeres. Esta metodología de análisis puede

ser aplicada en las necropsias al considerar y llevar a cabo los estudios de índole ginecológica aunque no se presume en un primer momento la presencia lesiones de índole sexual, así mismo, se indica que debido a las condiciones particulares basadas en premisas sociales que la víctima pudiese padecer resulta necesario realizar dichos estudios, en otras palabras, agotar todas las debidas diligencias a fin de que no se eche en falta información que posteriormente no pueda ser recuperada (8,9,10).

Dentro de la labor medicolegal y los objetivos del estudio de necropsia (8), se encuentra:

1. Determinar la causa de muerte
2. Establecer el intervalo postmortem
3. Descripción de lesiones
4. Toma de muestras
5. Determinar o excluir o factores contribuyentes o causantes de la muerte
6. Proporcionar testimonio experto

La necropsia está rodeada de circunstancias particulares, por ejemplo; esta siempre es realizada por la solicitud de la autoridad ministerial e implica una respectiva investigación.

En el caso de la violencia feminicida y la importancia de las necropsias, resulta necesario que se investigue minuciosamente y se recabe la suficiente información para que se agoten todas las posibles líneas de investigación debido a que es el único momento en que se tiene acceso al cadáver de la persona (9).

Este al ser una fuente de evidencia objetiva que puede referir la inherente comisión de un delito, es menester la revisión total de la información proporcionada por el cadáver de la persona fallecida y las muestras extraídas del mismo. Una vez realizados los respectivos análisis de las muestras, es posible obtener una gran variedad de resultados que en correlación con otra información contrastante, la persona investigadora podrá establecer una adecuada teoría del caso que posteriormente defenderá con argumentos científicos en una audiencia (5,8).

El estudio de mecánica de lesiones representa uno de los estudios más importantes para comprender como se llevó a cabo un proceso lesivo que provoco un daño o la perdida de la vida de la víctima. Se explicó anteriormente que la medicina forense puede relacionarse con muchas otras áreas periciales y este estudio es uno de los mayores ejemplos de correlación e interpretación de evidencia para conocer como sucedió el hecho que se investiga.

Una mecánica de lesiones comprende la realización de los siguientes apartados:

1. Cronología de producción
2. Probable objeto utilizado

3. Probable mecánica de producción
4. Probable dinámica de producción
5. Posición víctima-victimario

El objetivo de la mecánica de lesiones es determinar cómo se produjo cada una de las lesiones o artificios postmortem y qué tipo de fuerzas o acciones podrían haber causado los daños observados. Esto puede ayudar a esclarecer si las lesiones fueron el resultado de un accidente, un acto intencionado o si surgieron por otras circunstancias particulares. Además, puede ser crucial en la reconstrucción de eventos y en la elaboración de informes forenses que proporcionen evidencia sólida para ser presentada en tribunales y audiencias o para cualquier otra investigación de hechos (11,12,13).

Las personas expertas en mecánica de lesiones suelen utilizar una variedad de técnicas y conocimientos como la biomecánica para comprender cómo se comporta el cuerpo humano en diferentes situaciones y qué tipo de fuerzas e instrumentos pueden causar diferentes tipos de lesiones (13).

Este tipo de estudios toma en cuenta factores como la posición y locación anatómica del cuerpo en el momento del impacto, la velocidad, la dirección de las fuerzas aplicadas y la naturaleza de los objetos o superficies involucrados (11). En pocas palabras, los resultados de un buen estudio de mecánica de lesiones proporcionan datos sumamente relevantes en las investigaciones forenses relacionadas con heridas o daños físicos en el cuerpo humano, y su análisis ayuda a que conocer detalles que pueden ser determinantes en la resolución de una investigación (12,13).

En resumen, aunque las labores de la medicina pudieran parecer limitadas y poco concluyentes; son fuentes de información que fungen de base para la investigación. Una disciplina basada en ciencia como la medicina forense es capaz de proporcionar información que otras especialidades emplearán en repetidas ocasiones para comprobar la comisión de un delito de odio basado en género o algunos de los aspectos más importantes que pueden coadyuvar a establecer la identidad de la persona responsable y aclarar algunas de las preguntas de investigación.

## Psicología forense

La psicología forense es la aplicación y puesta en práctica de las investigaciones del comportamiento y conducta humana en relación con un hecho de interés jurídico, particularmente del derecho penal (14).

Dentro de las diversas aplicaciones que tiene la psicología forense con relación a los delitos es: evaluar la capacidad que una persona tiene de ser juzgada, credibilidad de declaraciones, evaluación de trastornos mentales, ayuda a las víctimas, valoración de la vulnerabilidad social, determinación de

las lesiones y/o secuelas psíquicas, etc. (14).

Dentro de estas aplicaciones, según sea el caso, todas pueden ser pertinentes para comprender más acerca del impacto psicológico y la dinámica psicológica que se emplea para la comisión de un delito de género.

Para señalar la importancia que tiene la psicología en este tipo de casos, diversos organismos de protección de derechos humanos llevaron a cabo distintos protocolos para la atención de este tipo de casos, entre los que destaca el modelo de protocolo latinoamericano de investigación de muertes violentas de niñas y mujeres, el cual refiere la importancia de estudios para visibilizar las alteraciones que la violencia feminicida puede perpetrar en las víctimas no solo en el plano físico, sino también en la psicológico (2).

Con base en la necesidad de atender la importancia que tiene la psicología forense, se refiere que esta puede ser aplicada en tres situaciones:

#### *a) En la investigación inicial*

La etapa de investigación consiste en el periodo de tiempo desde que se comete el hecho hasta que alguien es vinculado a proceso. En dicho periodo la psicología puede ser empleada para valorar las declaraciones de testigos, la realización del perfil psicológico de las víctimas directas e indirectas, evaluar el nivel de daño o lesión psicológico a raíz del hecho, etc. (14,15).

Como herramientas de investigación criminal, a finales del siglo pasado el Federal Bureau of Investigations (FBI) y la unidad de ciencias de la conducta llevaron a cabo los primeros estudios formales de perfiles criminológicos en el cual se entrevistaron a cientos de delincuentes y personas relacionadas a hechos delincuenciales con la finalidad de realizar un análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento. No obstante, aunque muchos trabajos sobre perfilación criminal refieren la importancia del uso del método científico y la lógica, la realidad es que solo en un número muy pequeño de casos esta técnica ha sido de utilidad para dar con la identidad de la persona responsable, debido a que se basa en inferencias y especulaciones que son sumamente complicadas de establecer y justificar (16,17,18).

Por otro lado, la evaluación de la evidencia conductual es un derivado de la perfilación criminal que establece que la huella psicológica que el perpetrador impregna en el lugar de investigación es imborrable (19).

La evidencia conductual, por su naturaleza es fundamentalmente detectada mediante la observación, la especulación y los procesos inferenciales empleados para dar una explicación plausible a un hecho que se investiga, esta a su vez depende de la imaginación y minuciosidad con la que se haya llevado a cabo la investigación. Asimismo, esta posee una ventaja por sobre la evidencia física, ya que no puede ser eliminada. Por ejemplo, la realización de actos de contrainteligencia o conciencia forense, o la ausencia de estos nos brindan información acerca de los procesos psicológicos que la persona responsable pudo llevar a cabo para la comisión del hecho (19).



formación acerca de los procesos psicológicos que la persona responsable pudo llevar a cabo para la comisión del hecho (19).

Con base en todo lo anterior, en la investigación del delito, la evidencia conductual es en esencia una herramienta de investigación que puede apoyar en la formulación de distintas hipótesis así como fortalecer las decisiones de una línea de investigación, pero que debe tomarse en cuenta que su peso probatorio es fundamentalmente menor que los indicios físicos y que se basa gran medida en la experiencia de quien realiza el análisis del hecho (19).

Otra de las actividades que la persona experta en psicología puede emplear antes de tener una probable persona responsable es en el caso de víctimas que sobrevivieron al hecho violento, pues a través de su declaración y entrevista/evaluación se puede recopilar información que ayude a dimensionar y cuadrar el daño que provocó la conducta delictiva, lo cual puede aportar datos importantes para la investigación así como dar pie a implementar medidas de reparación del daño.

#### *b) Durante el proceso penal*

En México, las audiencias del proceso penal comienzan cuando una persona es vinculada a la investigación del hecho y debidamente presentada ante un juez. Durante la etapa de investigación complementaria y la etapa intermedia del proceso, en el delito de feminicidio, hay estudios que pueden llevarse a cabo en cuatro escenarios y personas diferentes:

1. Víctimas directas
2. Víctimas indirectas
3. Personas responsables
4. Testigos

La respectiva intervención psicológica dará resultados acordes al daño producido, las condiciones de salud mental que presentaba previo al hecho, que tan inmiscuida estuvo la persona, entre otras cosas, no obstante, los objetivos son diferentes dependiendo de la persona que vaya a ser sujeta a esta intervención.

Para el caso de las *víctimas directas*, este tipo de hechos suelen dejar una lesión psicológica que puede verse agravada por las secuelas físicas de las lesiones que fueron producto del hecho o si la víctima ya contaba con una condición que afectase su salud emocional y mental (20,21,22). Para el caso de personas fallecidas, los estudios de psicodinamia en retrospectiva (anteriormente autopsia psicológica) pueden llevarse a cabo, siempre y cuando sean realizados en coadyuvancia con la mayor cantidad de información posible, perspectiva de género y estricto apego a los principios de no revictimización y derechos humanos, ya que, esta pericial ha sido asociada a tratos que culpabilizan a la propia víctima (23).

En el caso de las *víctimas indirectas*, particularmente en las mujeres se ha hecho el estudio del daño que los feminicidios producen dado el estado de terror e indefensión que pueden llegar a producir. Es decir, los delitos de odio basados en género producen miedo colectivo y una sensación de inseguridad que puede afectar su calidad de vida, por lo que son personas inmiscuidas en el delito que no deben ser pasadas por alto. A menudo se les realiza la toma de declaración, se evalúa su testimonio y de forma menos frecuente se dimensiona el grado de la lesión en la psique que un proceso traumático subsecuente a un feminicidio puede dejar en una persona, por lo que la intervención de psicología también debería garantizarse a todas las personas asociadas con el hecho (2,23).

Como parte de los estudios complementarios, para entender más acerca de la dinámica del hecho es necesario realizar estudios psicológicos en las personas responsables. La información que la intervención psicológica puede emplear es indispensable ya que permitirá conocer si la persona puede o no ser objeto de responsabilidad penal así como ser fuente de información para posteriores estudios de conductas violentas o con el fin de elaborar estadísticas de delictivas que apoyen a investigaciones posteriores (24).

Cuando se emplea la evaluación psicológica en testigos resulta importante los estudios y análisis de la veracidad de testimonio, conocer si no hay algún tipo de problema cognitivo que pudiese afectar la calidad de este o algún elemento de esa índole, tales como los diagnósticos psicopatológicos o estudios de trastornos actuales secuela del delito o acerca de fenómenos que pudiesen repercutir a la memoria (25).

### *c) Justicia restaurativa, seguimiento y reparación del daño a las víctimas.*

El concepto de justicia restaurativa se aborda desde tres elementos esenciales: la comunidad, la víctima y la persona infractora. Esta se define como un proceso por el cual se busca encontrar las causas de los comportamientos que vulneraron el tejido social, además de diseñar estrategias que buscan evitar que ese comportamiento ocurra otra vez (14).

Una vez establecida la existencia de un hecho que la ley reconoce como delito y posterior a la emisión de una justicia de acuerdo con lo que estableció la respectiva autoridad judicial, se debe procurar el seguimiento y la reparación integral del daño a las víctimas. En México, la víctima sigue siendo una parte olvidada que una vez concluida su función en el proceso penal, esta queda relegada al olvido y ya sea por deficiencias institucionales o de la praxis de la persona experta encargada, a estas se les pierde seguimiento (14).

En resumen, la psicología puede ser empleada de muchas maneras y en distintas personas y etapas del proceso para coadyuvar en la investigación de diversos tipos de delitos, entre los más graves y que requieren de manera necesaria la intervención de esta disciplina es el delito de feminicidio, tal como lo ha señalado la Oficina Regional para América Central del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos y la Organización Mundial de la Salud (2).

Para el caso concreto de Latinoamérica, específicamente en México, la psicología sigue siendo una disciplina que no siempre es llevada a cabo de manera adecuada y que aunque diversos protocolos refieren la importancia de esta para tipificar adecuadamente el delito de feminicidio (2), también se hace alusión a que algunas periciales son llevadas a cabo con base en estereotipos de género que incluso generan condiciones revictimizantes (26).

Es por lo anterior que se requiere de la constante actualización, capacitación y sensibilización de las personas expertas en psicología forense para evitar que sus periciales incurran en procesos revictimizantes, y que apoyen a la adecuada impartición de justicia. Adicionalmente el proceso de adecuación de la conducta al tipo penal se realiza únicamente con las circunstancias del hecho que refiere criminalística y lo que señale como lesiones un dictamen de necropsia

## Antropología

Desde una visión general de la antropología, esta está constituida por cuatro ramas que incluyen la antropología lingüista, sociocultural, arqueológica y física -o biológica-. Para el estudio de casos de violencia de género se emplean principalmente las últimas tres respectivamente (27,28).

En la antropología se exploran los fundamentos de otras áreas del conocimiento como la psicología, la biología, los estudios de sociedades y culturas y el como se relacionan entre si (28). Al ser una materia tan incluyente y holística en su naturaleza, resulta óptima para realizar análisis contextuales a cerca de la violencia de género y la ciencia forense.

### *Antropología sociocultural*

La antropología sociocultural -o simplemente social o cultural- se dedica al análisis y documentación de la sociedad, culturas y tradiciones. Dentro de las actividades que esta área realiza se encuentran la etnografía y la etnología. La primera consiste en el conjunto de técnicas y trabajo de campo que proporcionan información, la segunda examina e interpreta los resultados de la primera (27,28). Este conjunto proporciona información antropológica de importancia que puede ayudar a comprender de una manera histórica, cultural y científica el origen de la violencia de género, así como las cualidades que la permiten, fomentan e invisibilizan.

Para el caso práctico de la aplicación forense de los estudios de antropología sociocultural, se puede realizar la emisión de dictámenes que analicen el contexto que rodeó la muerte violenta de una mujer para así visualizar e identificar si hubo condiciones de género que pudiesen señalar la comisión de un feminicidio.

Algunos de los resultados generales de una investigación criminal que pueden servir como ejemplo, es el índice de disputas familiares que culminan

con la privación de la vida de la pareja empleando un arma de fuego en Estados Unidos, lo cual puede deberse a la legislación que este país tiene con respecto a la portación y uso de armas de fuego. Desde una percepción antropológica, esto tiene factores sociales, culturales, legales e incluso psicológicos que explican este tipo de conductas, lo cual es información que puede contribuir a comprender más sobre la naturaleza de los hechos (29).

Asimismo, México es un país con muchos y muy variados problemas entre los que destacan los altos índices de pobreza, delincuencia, desigualdad social y narcotráfico, este conjunto de factores genera un problema similar con las armas de fuego, pues las condiciones promueven su uso por diversos motivos. Este conjunto de cualidades son factores multidisciplinarios para considerar y comprender de mejor manera el riesgo que algunas mujeres enfrentan, por ejemplo, se ha referido que las mujeres que viven en un hogar con armas de fuego tienen más probabilidades de ser violentadas con estas (30,31).

Marcela Lagarde refiere que en México el feminicidio es un crimen de estado debido al componente de impunidad, indiferencia por parte de las instituciones estatales que fomentan y generan condiciones de indefensión y vulnerabilidad, dado que las conductas de violencia de género no son visibilizadas, las denuncias son ignoradas y las investigaciones muchas veces no son debidamente realizadas, por lo que esta serie de situaciones forman parte de la llamada: violencia feminicida, lo cual constituye una serie de factores sociales de importancia antropológica para comprender el fenómeno, sus alcances y su impacto en la vida de las personas que conforman la sociedad mexicana (24,32,33).

La labor de la antropología social guarda utilidad al diferenciar los contextos entre países y regiones para identificar las problemáticas específicas que cada uno posee, por lo que una vez comprendida la raíz del problema se puedan formular mejores hipótesis de investigación así como políticas públicas eficientes que con base en estudios contribuyan en producir efectos para la reducción de los índices de violencia.

Por otro lado, la política de determinados países no solo permite, sino que invisibiliza ciertos tipos de violencia contra las mujeres por conductas que en otras culturas no representan un hecho que requiera algún tipo de represión, por lo que no son fenómenos generalizables en todas las ocasiones, sino eventos que impactan en grupos sociales en concreto, en un determinado tiempo y espacio.

### *Antropología forense*

La antropología forense es una rama de la antropología física que se encarga de la aplicación de teorías, técnicas y métodos en cuestiones jurídicas, particularmente enfocadas en el análisis del esqueleto y/o restos humanos en diversos estados de descomposición (27). Algunas fuentes de estudios recientes en Latinoamérica extienden el rango de acción de la antropología forense al

análisis y recolección de muestras y evidencia asociada, además de las labores de arqueología y el trabajo que se lleva a cabo en colaboración con los familiares de las víctimas (34).

Ya sea en situaciones producto de desastres naturales masivos, de delincuencia organizada o de delitos cometidos por particulares, en México la labor de la antropología y la arqueología forense resulta de suma importancia dado en gran número de personas desaparecidas y fosas clandestinas que se reportan año con año. Y dado que estos delitos no son excluyentes de la violencia misógina y/o machista, es menester emplear la perspectiva de género al evaluar todos los casos (30). Asimismo, una buena praxis de antropología forense es capaz de proporcionar datos sobre la secuencia de eventos que dieron lugar a un hecho delictivo y coadyuvar a la impartición de justicia.

## Protocolos y el uso de otras fuentes de información

Como ya se ha mencionado, los protocolos de investigación realizados por diversas organizaciones de derechos humanos han hecho énfasis en la importancia de la integración de información en casos de muertes violentas de mujeres por razones de género. Asimismo, estos señalan deficiencias institucionales que funcionan como otro obstáculo para la investigación de casos de violencia de género, ya sea por temas de capacitación y formación de funcionarios/as públicos/as, negligencia o encubrimiento por parte de las autoridades encargadas de la impartición de justicia (2).

Concretamente, para el caso de México, la Corte Interamericana de Derechos Humanos ha emitido las sentencias: Caso Digna Ochoa y familiares vs. México y; Caso González y otras (“campo algodoner”) vs. México. Asimismo, la SCJN mexicana ha emitido la sentencia del caso de Mariana Lima Buendía, los cuales fueron eventos emblemáticos que señalan deficiencias en la praxis forense, policial y ministerial donde se ven involucradas fallas institucionales y sistémicas que impactan directamente en la calidad del abordaje de feminicidios en México (35,36,37).

En el estudio de estos casos se puede observar el encubrimiento de delitos de género por parte de autoridades; la deficiente o nula investigación que se lleva a cabo en muchos delitos; los sesgos y estereotipos de género que existen por parte de las personas encargadas de la investigación; denuncias ignoradas, entre otros diversos problemas (35,36,37).

Un ejemplo de estos problemas se describe en la sentencia de la SCJN sobre el caso de Mariana Lima Buendía, pues una deficiente y sesgada intervención criminalística dio pie a indicios que fueron malinterpretados debido a una manipulación que la persona responsable realizó sobre los mismos, los resultados de la necropsia realizada fueron imprecisos, particularmente en el registro y descripción de lesiones y la determinación de la causa de muerte, lo que dio pie a deficiencias en la investigación (35).

Además, los estudios complementarios psicosociales que pudieron haberse realizado para esclarecer la dinámica de vida que tenía la víctima tampoco fueron llevados a cabo, tampoco se realizaron peritajes en materia de psicología para determinar si había un perfil de personalidad misógina por parte de la persona señalada por las víctimas indirectas, que también indicaron antecedentes de violencia física y verbal (35).

Lo anterior, sumado a la intensa presión que realizaron las víctimas indirectas que exigían a las autoridades investigar con debida diligencia, contribuyeron a la resolución del caso y asimismo, brindar información que posteriormente sería empleada e interpretada para la realización de protocolos (36,2). El estudio de sentencias es un ejercicio que nutre los protocolos y recalca la importancia que tienen las periciales y la recopilación de casos.

Con base en todo lo anterior, el estudio de los indicios es una labor fundamental que requiere de una constante formación forense que brinde claridad a la investigación, asimismo, el análisis de información desde distintos puntos de vista busca generar hipótesis que ayuden a desarrollar nuevas líneas de investigación, contrastar información o cuestionar el planteamiento de actos de investigación complementarios para la clarificación de los hechos (2).

Cabe señalar que los protocolos indican y refieren los estándares generales que se deben seguir en una investigación, sin embargo, cada caso es único, por lo que cada uno tendrá matices y sus respectivas preguntas de investigación. El contar con protocolos no representa la solución a todos los casos, se requiere de un ejercicio diagnóstico que complemente, cuestione y razone los productos de la investigación. Señalar esto resulta relevante para comprender que la praxis forense requiere de personas capacitadas y actualizadas que recurran a diversas fuentes de información para intentar dar respuesta a las preguntas que emerjan de un evento criminal. Para el caso de México, las sentencias también señalan deficiencias en investigaciones que no deben repetirse, así como algunas pautas a seguir que dependerán de la naturaleza del caso y requieren de un ejercicio diagnóstico.

En resumen, los protocolos así como las respectivas disciplinas periciales son herramientas valiosas para la investigación de feminicidios, sin embargo, no son las únicas que pueden brindar claridad para el abordaje de delitos de género. El derecho también es capaz de proporcionar algunas pautas que pueden seguirse para completar la información así como brindar otro punto de vista con base en casos revisados, tal como las sentencias de la CIDH o la SCJN, las cuales son consideradas para la realización y actualización de los protocolos de investigación (35,36,37).

## Análisis de contexto, holístico y multidisciplinario

Dada la naturaleza compleja del delito de feminicidio y los elementos subjetivos que rodean su interpretación, tipificación y posterior evaluación para

políticas de prevención, se requiere de un gran sustento científico basado en las diversas disciplinas que coadyuven su análisis.

En México es común que se señale como feminicidio los casos de violencia contra las mujeres que poseen excesiva violencia, que si bien, dado el contexto social que generalmente rodea a las mujeres es una suposición válida, no prueba de manera contundente y cien por ciento precisa que el delito haya sido llevado a cabo por razones de género (2).

Para llevar a cabo un análisis holístico que sustente que el delito fue llevado a cabo por razones de género se debe procurar una buena labor criminalística, debido a que esta proveerá de certeza a los resultados obtenidos de los análisis de indicios al llevar a cabo el procesamiento del lugar así como su adecuada recolección.

Posteriormente, ya sea que se trate de una persona viva o fallecida, la medicina forense se encargará de realizar la revisión de la persona; la necropsia; y/o los respectivos muestreos que permitirán que otras especialidades como la toxicología, la genética o la patología proporcionar información para clarificar las dudas que puedan surgir del caso.

Una vez que se cuente con los estudios en materia de criminalística y medicina forense, la persona o personas investigadoras pueden solicitar la intervención de otras áreas como la antropología y la psicología con la finalidad de obtener más datos que contribuyan a la investigación.

En caso de que se cuente con un probable responsable que haya sido vinculado conforme a derecho y con pruebas que establezcan su relación con el delito, se pueden realizar estudios sobre los contextos que pudiesen haber jugado un papel importante en su psique y/o motivación para la comisión del hecho delictivo. Por su parte, el dimensionamiento del daño perpetrado no sólo a la víctima directa, sino también en las indirectas es un asunto que nunca debe quedar relegado y que debe seguir siendo estudiado con el fin de proporcionar la reparación integral del daño.

Por su parte, como respuesta a esto, en México se han empleado y desarrollado las Unidades de Análisis de Contexto, las cuales contemplan y estudian toda esta información que correlaciona distintas ramas de la ciencia forense, asimismo conjuntan diversos perfiles profesionales para llevar a cabo la integración de información.

Todo este apartado y lo ya mencionado en él es una descripción breve sobre como se concatena la intervención de diversas disciplinas forenses. En la práctica, muchas veces estas diligencias no pueden ser llevadas a cabo en tiempo y forma, ya sea por falta de personal o de capacitación de las personas encargadas de realizar dichas periciales. Por lo que una investigación de delito esta ligada a muchos problemas sistémicos que repercuten directamente en la investigación e impartición de justicia, de ahí que haya definiciones de feminicidio que lo consideran también un crimen de Estado (33).

En resumen, el abordaje de múltiples áreas del conocimiento científico es la herramienta más funcional para la resolución no sólo de delitos de género, sino para el entendimiento de cualquier tipo de hecho, pues otorga a quien investiga los elementos que deben ser integrados para conocer qué fue lo que ocurrió y así intentar dar respuesta a todas las preguntas de investigación planteadas.

## Conclusiones

Existe multitud de indicios que podrían ser evaluados por las distintas áreas del conocimiento que intervienen en una investigación de feminicidio.

Por parte de la medicina es posible extraer la causa de muerte, el probable objeto que realizó una lesión, la posición víctima-victimario, la probable mecánica y dinámica lesiva y la cronología del evento violento, todos datos de suma importancia para llevar a cabo una investigación y la correspondiente formulación de diversas hipótesis. Por otro lado, de la psicología se puede extraer información acerca de contextos previos de violencia, la presencia o ausencia de enfermedades mentales, trastornos psicológicos, vivencias que marcan la psicología de la víctima y la persona responsable y el dimensionamiento del daño que puede provocar en todos los tipos de víctima un hecho de violencia feminicida. De la antropología social y forense se puede extraer información importante de los contextos culturales y sociales de determinadas zonas geográficas, para el caso de la investigación de feminicidios se puede enfatizar e identificar el tipo de violencia específica que pudiese ocurrir en contra de las mujeres, ya sea por las condiciones socioculturales, tradiciones, índices de criminalidad, etc. Además, los protocolos y sentencias contribuyen a complementar el abordaje de hechos. El presentar casos prácticos, también contribuyen a proporcionar información que la persona investigadora puede emplear para llevar a cabo una interpretación sustentada, o cuanto menos proporcionar nuevas hipótesis o líneas de investigación.

Desde la visión multidisciplinaria se pueden evidenciar muchos otros problemas sistémicos como la falta de apoyo y capacitación por parte de las autoridades. También, hay protocolos que contienen información que otros no contienen, por lo que la constante capacitación y conocimiento de estos resulta importante, además del cuestionamiento de lo mencionado en los mismos, esto con la finalidad de mejorarlos.

La intervención de todas las disciplinas que evalúan los casos de feminicidio resulta de gran relevancia no sólo para la resolución de un caso, sino también para la realización de estudios basados en evidencia que brinden datos acerca de cómo se llevan a cabo en México y que pudiesen ser de apoyo para el desarrollo de futuras políticas públicas de prevención.



## Bibliografía

1. Toledo, P. *Feminicidio: Consultoría para la Oficina en México del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos*. México, DF: Naciones Unidas. 2009.
2. ONU Mujeres. *Modelo de protocolo latinoamericano de investigación de las muertes violentas de mujeres por razones de género (femicidio/feminicidio)*. Panamá: Oficina Regional para América Central del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. 2014.
3. Wells, D. *Guidelines for medico-legal care for victims of sexual violence*. World Health Organization, 1-2. 2003.
4. *Guía Nacional de Cadena de Custodia*. Conferencias Nacionales Conjuntas de Procuración de Justicia y de Secretarios de Seguridad Pública. Gobierno de México. 2010.
5. Gardner, R. *Practical crime scene processing and investigation*. (3ª ed). CRC Press. 2019.
6. Pettler, L. *Crime scene staging dynamics in homicide cases*. CRC Press. 2015.
7. Llacer A, Zunzunegui MV, del Amo J, Mazarrasa L, Bolumar F. The contribution of a gender perspective to the understanding of migrants' health. *Journal of Epidemiology & Community Health* [Internet]. 2007 Dec 1;61(Supplement 2):ii4-10.
8. Takajashi, F, et. al. *Medicina forense. Manual Moderno*. 2019.
9. Mercado, A. *Guía para la valoración de la prueba pericial en materia de medicina forense (necropsia)*. Consejo de la Judicatura Federal. 2022.
10. Corte Interamericana de Derechos Humanos (CIDH). *Caso González y Otras ("campo algodoner") vs. México*. Sentencia de 16 de noviembre de 2009. 2009.
11. DiMaio, V, & Molina, D. *DiMaio's Forensic Pathology* (3ª ed). CRC press. 2019.
12. Garduza, I. G. *Certificado-dictamen de lesiones. Estudio de un caso*. *Revista CONAMED*, 27(1), 41-52. 2022.
13. Hayes WC, Erickson MS, Power ED. *Forensic Injury Biomechanics. Annual Review of Biomedical Engineering*. 2007 Aug 15;9(1):55-86. 2020. <https://doi.org/10.1146/annurev.bioeng.9.060906.151946>.
14. García-López, E. *Fundamentos de psicología jurídica y forense*. Oxford University Press México. 2016.
15. García-López, E. *Psicopatología forense: comportamiento humano y tribunales de justicia*. Editorial El Manual Moderno. 2014.
16. Jiménez, J. *Manual práctico del perfil criminológico*. (2.ª ed). Lex Nova. 2012.
17. Ribeiro, Rita Alexandra Brilha, and Cristina Branca Bento de Matos Soeiro. "Analysing Criminal Profiling Validity: Underlying Problems and Future Directions." *International Journal of Law and Psychiatry*, vol. 74, no. 74, Jan. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ijlp.2020.101670>.
18. Beauregard, E. The role of profiling in the investigation of sexual homicide. En J. Proulx, E. Beauregard, M. Cusson, & A. Nicole (Eds.), *Sexual murder: A comparative analysis and new perspectives* (pp. 193- 211). John Wiley & Sons, Ltd . 2007.
19. Soto, J. La evidencia conductual y su relevancia en la investigación policial. *Quadernos de criminología: revista de criminología y ciencias forenses*, 12(ISSN 1888-0665), 40-45. 2011.
20. Verde, M. A. S., & Roca, D. S. (2006). *Psicología criminal*. Pearson educación.
21. Echeburúa, E., De Corral, P., & Amor, P. J. (2002). Evaluación del daño psicológico en las víctimas de delitos violentos. *Psicothema*, 139-146.
22. Odriozola, E. E., de Corral Gargallo, P., & Andrés, P. J. A. (2004). Evaluación del daño psicológico en las víctimas de delitos violentos. *Psicopatología clínica legal y forense*, 4(1), 227-244.
23. *Informe implementación del tipo penal de feminicidio en México. Desafíos para acreditar las razones de género*. 2014-2017.
24. Cuautle D. *Análisis del concepto de lesiones infamantes o degradantes como razones de género a comprobar en el delito de feminicidio*. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis. 2023.
25. Christopher Fowler, J., & Christopher Perry, J. (2005). Clinical tasks of the dynamic interview. *Psychiatry: Interpersonal and Biological Processes*, 68(4), 316-336.
26. *Observatorio Ciudadano Nacional de Feminicidio (OCNF). Informe implementación del tipo penal de feminicidio en México: desafíos para acreditar las razones de género 2014-2017*. (2018).
27. Christensen A. et. al. *Forensic anthropology: current methods and practice*. Academic Press. 2019. p.1-17.
28. Philip C. *Antropología Cultural*. 14 ed. México: 2018. p.8-17.
29. Violence Policy Center, *When Men Murder Woman. An Analysis of 2015 Homicide Data*, Washington. 2017.
30. Romero A. La importancia de una investigación criminalística con perspectiva de género en los delitos cometidos en contra de mujeres con armas de fuego. *Nova Iustitia Revista Digital de la Reforma Penal*. 7; 27. p101-113.
31. Almanza-Avendaño A, et. al. *Pérdida ambigua: madres de personas desaparecidas en Tamaulipas, México*. *Región y sociedad*, 32, e1396. Epub 10 de marzo de 2021. <https://doi.org/10.22198/rys2020/32/1396>
32. Cruz, M. Un abordaje de la noción de feminicidio desde una perspectiva psicoanalítica como recurso para mejorar la aplicación de la normativa legal vigente. *Ajayu Órgano de Difusión Científica del Departamento de Psicología UCBS*, 15(2), 214-251. Recuperado en 8 de septiembre de 2023.
33. Lagarde M. *Antropología, feminismo y política: violencia feminicida y derechos humanos de las mujeres*. Universidad Nacional Autónoma de México. 2008. p 209-239.
34. Fondebrider L. *Guía forense para la investigación, recuperación y análisis de restos óseos*. Equipo Argentino de Antropología Forense. 2020.

35. SCJN. Amparo en revisión 554/2013, resuelto en sesión del 25 de marzo de 2015. Quejosa Irinea Buendía Cortez (madre de Mariana Lima Buendía). Unanimidad. Ponente ministro Alfredo Gutiérrez Ortiz Mena. Secretaria: Karla I. Quintana Osuna.
36. CIDH. Caso González y otras ("Campo Algodonero") vs. México. Sentencia de 16 de noviembre de 2009 (excepción preliminar, fondo, reparaciones y costas).
37. CIDH. Caso digna ochoa y familiares vs. México. Sentencia de 25 de noviembre de 2021. (Excepciones Preliminares, Fondo, Reparaciones y Costas).



# ARTÍCULOS DIFUSIÓN / DIVULGACIÓN

# Perspectiva general de la genética y la genómica forense en México

José Alonso Aguilar Velázquez <sup>1\*</sup>

Abscripción:

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación en Ciencias Morfológico-Forenses y Medicina Molecular, Departamento de Morfología, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.

\* josealonso.aguilarvelazquez@academicos.udg.mx

## Datos del artículo

Cita: Aguilar-Velázquez, JA . 2023. Perspectiva general de la genética y la genómica forense en México. Artículo de difusión/ divulgación. Revista Digital de Ciencia Forense. 2(3): 67-76 pp.

Editor: Alexa Villavicencio Queijeiro

Recibido: 01 junio 2023.

Aceptado: 18 septiembre 2023.

Publicado: 28 octubre 2023.

## Resumen

La genética forense permite implementar el conocimiento y las técnicas de la genética para la resolución de casos de orden legal. Aunque esta área es de gran ayuda para la labor de identificación humana, existen casos donde las técnicas convencionales basadas en PCR-EC no son suficientes para identificar personas o restos biológicos a través del DNA. Por lo tanto, en esas situaciones complejas se hace necesaria la implementación de técnicas más novedosas de identificación, como las basadas en genómica forense mediante el análisis de marcadores moleculares a lo largo de todo el genoma. Esta tarea es importante en países como México, donde desde hace varios años existe una crisis forense con un gran número de personas desaparecidas y cadáveres sin identificar. Sin embargo, existe un número muy reducido de trabajos donde se ha validado la utilización y rendimiento de estas tecnologías en poblaciones mexicanas, por lo que es de suma importancia que se realicen más estudios de genómica forense para facilitar la resolución de casos complejos. En este artículo se aborda de manera general la actualidad de la genética y la genómica forense, considerando la perspectiva de México.

**Palabras clave:** genética forense, genómica forense, identificación humana, México.

## Abstract

Forensic genetics allows the implementation of genetic expertise and techniques for the resolution of legal casework. Although this area is helpful for human identification, there are situations where conventional techniques are not sufficiently informative to identify human remains through DNA. Therefore, in these complex situations, it is necessary to implement more innovative identification techniques, such as those based on forensic genomics through the analysis of genome-wide molecular markers. This task is important in countries such as Mexico, where there has been a forensic crisis for several years with a large number of missing persons and unidentified bodies. However, there is a very small number of works where these tools have been reported in Mexican populations, so it is necessary to carry out more genomic studies to allow the resolution of complex human identification casework. This article presents a general overview of the current state of forensic genetics and genomics, considering the Mexican perspective.

**Key words:** forensic genetics, forensic genomics, human identification, Mexico

## Antecedentes

### *Generalidades de la genética forense*

La genética forense es un área de estudio y aplicación que incluye un conjunto de conocimientos de la genética y la biología molecular, que son necesarios para la resolución de casos de orden jurídico. Entre los tipos de pericias más solicitados a los laboratorios de genética forense por los tribunales se encuentran la prueba biológica de paternidad, identificación biológica de restos cadavéricos e identificación de muestras biológicas derivadas de casos criminales (saliva, sangre, cabellos, semen, entre otros).

La genética forense comenzó con el descubrimiento del grupo sanguíneo ABO, la caracterización hereditaria en el año 1910 (1) y su implementación en casos de paternidad e identificación humana a partir del año 1912. Posteriormente se emplearon otros tipos de moléculas con fines forenses, como el antígeno leucocitario humano (HLA) y proteínas séricas, que ofrecían mayor capacidad discriminatoria con respecto al grupo ABO (2). Otro hallazgo importante fue la identificación de diferentes secuencias polimórficas de DNA que pueden ser rastreadas de padres a hijos a través de generaciones, mismas que fueron llamadas marcadores moleculares o genéticos. Los primeros marcadores moleculares utilizados en el área de la genética forense fueron los VNTRs (siglas en inglés de “número variable de repeticiones en tándem”). Posteriormente se comenzaron a emplear otros marcadores como los microsatélites, también llamados STRs (siglas en inglés de “repeticiones cortas en tándem”), los SNPs (siglas en inglés de “polimorfismos de un solo nucleótido”) e INDELS (siglas en inglés de “inserción/delección”), que gracias a su menor tamaño los hace más fáciles de detectar en muestras con poca cantidad de DNA.

Con regularidad el trabajo en los laboratorios de genética forense comienza con la obtención de una muestra biológica ya sea para establecer una paternidad, identificar restos biológicos o identificar a un implicado en un caso criminal. Las muestras que se analizan con mayor frecuencia suelen ser manchas de sangre, semen, saliva u otros objetos (prendas de vestir, colillas de cigarro, vasos y condones usados, entre otros)

obtenidos como indicios en un lugar de investigación forense. Por otra parte, también se pueden obtener muestras sanguíneas de referencia de un imputado o de un supuesto padre implicado en un caso de paternidad.

Cuando se tiene la muestra biológica, la cual debe ser almacenada según las condiciones necesarias, se procede a extraer el DNA de la muestra, tarea que permite separar y aislar el material genético de los demás componentes celulares (RNA, carbohidratos, lípidos, enzimas y otras proteínas) para facilitar los análisis. Después se cuantifica la muestra para conocer la cantidad de DNA, así como su pureza (proporción de DNA, proteínas y sales). Una vez que se sabe que existe una cantidad suficiente de DNA, se procede a realizar una amplificación por PCR (siglas en inglés de “reacción en cadena de la polimerasa”), con lo que se obtienen millones de copias de las regiones genéticas de interés, que en la mayoría de los casos suelen ser STRs. Actualmente están disponibles en el mercado una gran diversidad de kits comerciales que incluyen todos los reactivos para analizar por PCR entre 15 y más de 27 STRs (Powerplex® 16, Identifier™, Powerplex® 21, Powerplex® Fusion, GlobalFiler™, entre otros). Posteriormente, se analizan mediante electroforesis capilar (EC) los fragmentos de DNA que se amplificaron y mediante un software se determinan los perfiles genéticos que se analizaron. Los resultados de la EC se reflejan en un electroferograma, que muestra los alelos (en forma de picos) para cada marcador e individuo analizado. El último paso corresponde al análisis estadístico de los hallazgos genéticos, el cual es diferente según se busque resolver una prueba de parentesco biológico o un caso criminal.

Para el caso de las pruebas de paternidad, se suelen hacer cálculos como el índice de paternidad (IP) y la probabilidad de paternidad (W), mientras que para los casos criminales se calcula la probabilidad de coincidencia al azar (PCA) y una razón de verosimilitud (LR) (Figura 1). A partir de los resultados se redacta el informe pericial que se entrega a las autoridades correspondientes para evaluar el caso.

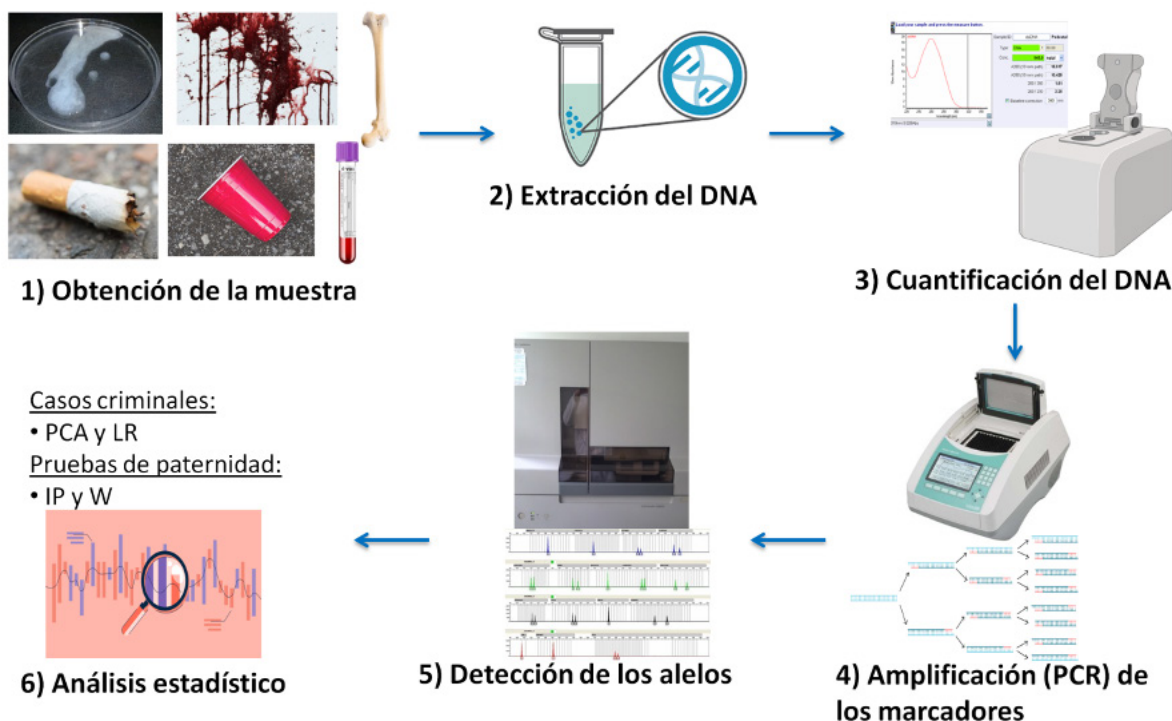
Para que los analistas forenses puedan hacer los cálculos estadísticos de las pruebas de paternidad y de identificación humana, es necesario que existan disponibles en la literatura las frecuencias alélicas y ciertos parámetros estadísticos de interés forense

(índice de paternidad, probabilidad de discriminación, probabilidad de exclusión, entre otros) para la población de interés. Por ejemplo, en un caso criminal, una vez que se obtuvieron los perfiles genéticos tanto de la muestra que se encontró en la escena como de la muestra de una persona sospechosa, es necesario conocer cuál es la probabilidad de que esos perfiles genéticos coincidan por azar y por lo tanto el sospechoso no sea quien cometió el crimen. En esos casos se calcula la PCA, que depende directamente de las frecuencias alélicas reportadas para esa población. Por lo tanto, es de suma importancia que se realicen estudios en los que se reporten estos parámetros en la mayor cantidad posible de poblaciones y empleando los diferentes kits comerciales que existen. En el caso de México, durante los últimos 25 años se han publicado una gran cantidad de trabajos donde se reportaron las frecuencias alélicas

y los parámetros estadísticos de interés forense de muchas poblaciones usando diferentes marcadores y kits comerciales basados en EC, sin embargo, no todas las poblaciones han sido estudiadas (Tabla 1).

### Marcadores moleculares usados en genética forense

Los STRs se convirtieron en los marcadores de elección en pruebas forenses desde hace más de 20 años, debido a su abundancia en el genoma, gran polimorfismo, baja tasa de mutación, herencia mendeliana y facilidad de análisis mediante PCR y electroforesis. Estos marcadores son segmentos de DNA que contienen repeticiones cortas de dos a siete pares de bases (pb) seguidas una tras otra o en tándem (por ejemplo, la secuencia TATA-TATA-TATA), y se encuentran localizados a lo largo del genoma,



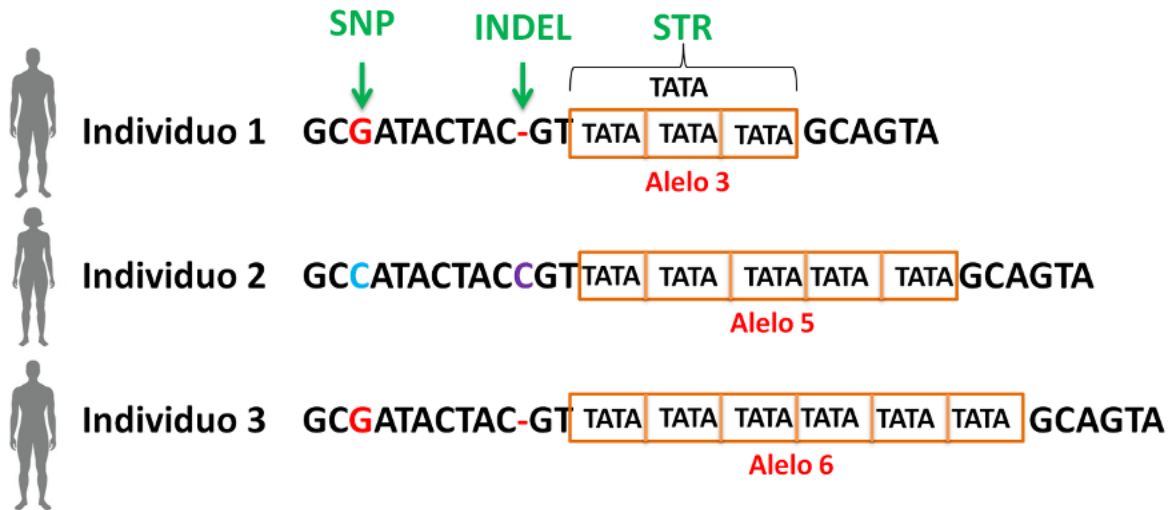
**Figura 1.** Flujo de trabajo general de los laboratorios de genética forense. Los genetistas forenses realizan los análisis de la siguiente manera: 1) comienzan con una muestra biológica (semen, sangre, huesos, saliva, etc.); 2) extraen el DNA eliminando otros componentes celulares para que no interfieran en los análisis posteriores; 3) cuantifican el DNA, para conocer si la cantidad y calidad es suficiente para continuar con la amplificación; 4) amplificación del DNA por PCR, con la finalidad de obtener millones de copias de las moléculas de interés; 5) detección de los alelos y genotipos por electroforesis capilar, lo que permitirá identificar el perfil genético de la muestra de estudio; y 6) el análisis estadístico, que tiene como finalidad determinar el valor cuantitativo de los hallazgos genéticos: en casos criminales se suele calcular la probabilidad de coincidencia al azar (PCA) y la relación de verosimilitud (LR, por likelihood ratio) para determinar qué tan frecuente es el perfil y cuál es la probabilidad de que el perfil genético corresponda al del sospechoso o al de otro individuo en la población, mientras que en pruebas de paternidad se suele calcular el índice de paternidad (IP) y la probabilidad de paternidad (W), que permiten conocer la probabilidad de que el supuesto padre sea el padre biológico del hijo en disputa.

**Tabla 1.** Poblaciones mexicanas para las que se han reportado los parámetros estadísticos de interés forense mediante electroforesis. Se muestra el conjunto de marcadores o kit comercial que se utilizó para analizar cada población.

Población	Sistema genético	Referencia
Jalisco (3 grupos étnicos)	2 VNTRs, 4 STRs	Rangel-Villalobos et al. Hum Biol. 2000;72(6):983-95.
Chihuahua	Identifiler (15 STRs)	Martínez-González et al. J Forensic Sci. 2005, 50(1):236-8.
Ciudad de México	Profiler (9 STRs)	Luna-Vazquez et al. Forensic Sci Int. 2003;136(1-3):96-8. doi: 10.1016/s0379-0738(03)00254-8.
Nuevo León	13 STRs (CODIS)	Cerda-Flores et al. Am J Hum Biol. 2002;14(4):429-39. doi: 10.1002/ajhb.10058.
Centro	Identifiler (15 STRs)	Hernández-Gutiérrez et al. Forensic Sci Int. 2005;151(1):97-100. doi: 10.1016/j.forsciint.2004.09.080.
Chiapas (Choles)	Identifiler (15 STRs)	Sánchez et al. J Forensic Sci. 2005;50(6):1499-501.
Veracruz	Profiler (9 STRs)	Licea-Cadena et al. Leg Med (Tokyo). 2006;8(4):251-2. doi: 10.1016/j.legalmed.2006.04.003.
Hidalgo	Identifiler (15 STRs)	Gorostiza et al. Forensic Sci Int. 2007;166(2-3):230-2. doi: 10.1016/j.forsciint.2005.12.007.
Ciudad de México	Identifiler (15 STRs)	Juárez-Cedillo et al. 2008;2(3):e37-9. doi: 10.1016/j.fsigen.2007.08.017.
Yucatán (Mayas)	Identifiler (15 STRs)	Ibarra-Rivera et al. Am J Phys Anthropol. 2008;135(3):329-47. doi: 10.1002/ajpa.20746
Jalisco, Puebla y Yucatán	Identifiler (15 STRs)	Rubi-Castellanos et al. Forensic Sci Int Genet. 2009;3(3):e71-6. doi: 10.1016/j.fsigen.2008.07.006.
Oaxaca (grupos étnicos)	Identifiler	Quinto-Cortés et al. Hum Biol. 2010;82(4):409-32. doi: 10.3378/027.082.0405.
Guanajuato	PowerPlex 16 (15 STRs)	Rangel-Villalobos et al. Forensic Sci Int Genet. 2010;4(4):271-2. doi: 10.1016/j.fsigen.2009.09.001.
Nayarit	Identifiler	Alvarez-Cubero et al. Leg Med (Tokyo). 2011;13(6):323-7. doi: 10.1016/j.legalmed.2011.07.003.
Ciudad de México	PowerPlex Fusion (23 STRs + 1 Y-STR)	Ramírez-Flores et al. Forensic Sci Int Genet. 2014;10:e4-e6. doi: 10.1016/j.fsigen.2014.02.001.
Occidente	Powerplex 21 (20 STRs)	Martínez-Sevilla et al. 2016. Rev Esp Med Leg. 2016;42 (1), 10-16.
Norte y occidente (8 grupos étnicos)	Identifiler (15 STRs)	Rangel-Villalobos et al. Forensic Sci Int Genet. 2013;7(3):e62-5. doi: 10.1016/j.fsigen.2013.02.003.
Sur (9 grupos étnicos)	Identifiler (15 STRs)	Rangel-Villalobos et al. Int J Legal Med. 2014;128(3):467-8. doi: 10.1007/s00414-013-0956-y.
Nuevo León	Powerplex Fusion y Globalfiler (23 STRs + 1 Y-STR)	Ramos-González et al. Forensic Sci Int Genet. 2016;21:e15-7. doi: 10.1016/j.fsigen.2015.12.004.
Occidente	Powerplex Fusion (23 STRs + 1 Y-STR)	Aguilar-Velázquez et al. Int J Legal Med. 2016;130(6):1489-1491. doi: 10.1007/s00414-016-1361-0.
Nuevo León	Powerplex Y-23 (23 Y-STRs)	Ramos-González et al. Forensic Sci Int Genet. 2017;29:e21-e22. doi: 10.1016/j.fsigen.2017.04.016.
Noroeste, noreste, occidente, centro y sureste	Powerplex 21 (20 STRs)	Aguilar-Velázquez et al. Int J Legal Med. 2018;132(5):1293-1296. doi: 10.1007/s00414-018-1810-z.
Guerrero	Globalfiler (21 STRs)	Aguilar-Velázquez et al. Ann Hum Biol. 2018;45(6-8):524-530. doi: 10.1080/03014460.2019.1568548.
Noroeste	Globalfiler (21 STRs)	Martínez-Cortés et al. Int J Legal Med. 2019;133(3):781-783. doi: 10.1007/s00414-018-1950-1.
Ciudad de México	Powerplex Y-23 (23 Y-STRs)	López-Ramírez et al. Int J Legal Med. 2020;134(1):199-202. doi: 10.1007/s00414-019-02183-1.

aproximadamente cada 5,000 a 10,000 pb (3). Un alelo STR es nombrado de acuerdo con el número de veces que se presenta la repetición, de manera que el alelo seis indica que la secuencia está presente seis veces (Figura 2). Cabe destacar que los STRs se pueden clasificar de diferentes maneras, según los siguientes criterios: 1) por el número de nucleótidos que conforman los motivos de repetición (di-, tri-, tetra-, penta-, hexa- y hepta-nucleótidos según si tienen dos, tres, cuatro,

cinco, seis o siete nucleótidos, respectivamente). Los STRs más utilizados con fines forenses en la actualidad son los tetra- y penta-nucleótidos, debido a que son los que presentan datos con menor cantidad de errores y parecen ser los más frecuentes en el genoma; 2) por la estructura de los motivos de repetición, entre los que se encuentran los (a) STRs con repeticiones simples, que contienen unidades de longitud y secuencia idénticas, por ejemplo la secuencia AGAT-AGAT-AGAT; (b) los



**Figura 2.** Representación de los diferentes marcadores moleculares usados en genética forense. Los SNPs que son variaciones en un solo nucleótido de DNA; INDELs, que son secuencias de nucleótidos que se encuentran presentes o ausentes y los STRs, que son secuencias cortas de nucleótidos de DNA que se repiten una tras otra.

STRs con repeticiones compuestas, que comprenden dos o más repeticiones simples adyacentes, por ejemplo la secuencia AGAT-AGAT-AGAC-AGAC; y (c) los STRs con repeticiones complejas, que poseen múltiples bloques de repeticiones de longitud variable, con secuencias intermedias variables (4), por ejemplo la secuencia AGAT-AGAT-AG-AGC-AGAC-AGAT. Los STRs se encuentran tanto en los cromosomas autosómicos (pares 1 al 22) como en el cromosoma X (X-STRs) y en el cromosoma Y de los varones (Y-STRs). Estos últimos son útiles en casos específicos, por ejemplo el uso de Y-STRs en casos de abuso sexual o en casos de paternidad en los que no se cuenta con muestra biológica del supuesto padre, pero sí con la de uno de sus familiares vía paterna.

Por otra parte, los SNPs corresponden a cambios en una sola base del DNA, por ejemplo, un cambio de guanina (G) por una citosina (C) en una región específica de la secuencia. Mientras que los INDELs son sitios donde existe (inserción) o no (delección) un nucleótido o una secuencia de nucleótidos (Figura 2). Como se mencionó anteriormente, los STRs son los marcadores más utilizados en casos forenses y los SNPs e INDELs son marcadores que normalmente se usan de manera complementaria en casos donde los STRs no son suficientes para esclarecer un parentesco o la identidad del donador de una muestra de DNA. Sin

embargo, a pesar de que tienen un notable menor poder de discriminación que los STRs, los SNPs e INDELs son muy útiles en casos donde la muestra de DNA está muy degradada o en muy baja concentración (como en el caso de fragmentos óseos que han sido expuestos al fuego, o en condiciones de humedad, entre otros) ya que por su menor tamaño necesitan secuencias de menor longitud para poder ser amplificados y detectados.

### Limitantes en genética forense

A pesar de que los STRs son los marcadores más utilizados en genética humana, suelen existir casos donde no son suficientes o concluyentes para resolver una relación de parentesco. Por ejemplo, casos en los que la muestra de DNA está degradada y casos de identificación humana donde se incluye solamente a uno de los padres (casos dúo) o en los que solamente se incluyen familiares de segundo o tercer grado (hermanos, abuelos, nietos, tíos, sobrinos, etc.). Uno de los factores más importantes para la resolución de casos forenses es el número de marcadores analizados, ya que entre menor es el número de STRs empleados en una prueba de identificación humana los resultados serán menos informativos, por lo tanto, habrá una probabilidad más alta de que por azar exista coincidencia con otro perfil genético. Además, debido al contexto en que se encuentran muchas de las muestras



biológicas analizadas en el laboratorio de genética forense (lugares de investigación, fosas clandestinas, restos con avanzado estado de descomposición, etc.) es muy probable que el DNA que se obtiene se encuentre altamente degradado, lo que aumenta la probabilidad de que se pierdan alelos (drop out) o no se puedan amplificar los STRs de mayor tamaño (perfiles incompletos), por lo que es importante que se analice el mayor número posible de marcadores.

Debido a esto, en el año 2020 el FBI aumentó a 20 el número de marcadores STRs que conforman el CODIS (por las siglas en inglés de sistema de índices combinados de DNA), que es la base de datos nacional de Estados Unidos donde se encuentran los perfiles genéticos relacionados a casos forenses. Sin embargo, en México no existe una regulación o un consenso en el número mínimo de marcadores que se deben emplear para la resolución de casos forenses, aunque se reportó previamente que es necesario utilizar kits con al menos 20 STRs para detectar más exclusiones y disminuir el número de resultados no concluyentes con exclusiones aisladas (menos de 3 marcadores), lo que al mismo tiempo ayuda a obtener mejores resultados en las pruebas de paternidad (índices de paternidad) (5). También se han publicado en revistas científicas algunos reportes de situaciones complejas en las que los STRs no han sido concluyentes o suficientes para la resolución de casos forenses en México, por ejemplo, se reportó el hallazgo de nueve casos de coincidencias (aparentes relaciones de parentesco) en una base de datos de 2000 perfiles con 15 STRs donde, de acuerdo a los historiales familiares, no existía una relación biológica, por lo que presumiblemente se trató de coincidencias fortuitas (6). En otro trabajo se reportaron exclusiones en tres marcadores en una prueba de paternidad, lo que generó una probabilidad de paternidad baja, que normalmente se traduciría a una aparente “no paternidad”. No obstante, debido a que todos los marcadores que presentaron exclusión se encontraban en el mismo cromosoma –con la posterior confirmación con INDELS e INNULLs– se determinó una disomía uniparental (DUP) materna, es decir, ambos cromosomas 2 del hijo en disputa fueron heredados por la madre (7). En otro caso complejo, se comprobó la paternidad aún con la presencia de una mutación de 4 pasos (delección de 4 motivos de

repetición) en el hijo, mediante la utilización de dos sistemas genéticos diferentes (23 STRs) y evaluando la hipótesis del hermano del supuesto padre (8).

Es importante mencionar que, aunque existen casos complejos como los antes mencionados, estos son muy poco frecuentes. Sin embargo, cuando este tipo de casos se presentan en el laboratorio suelen ser difíciles de solucionar mediante las herramientas tradicionales y regularmente los analistas forenses deberán emplear diferentes sistemas genéticos (STRs, SNPs, INDELS, INNULLs, etc.) y aplicar fórmulas estadísticas especiales según sea el caso, por lo que es necesaria una inversión muy grande de tiempo, recursos económicos y trabajo. Estas limitantes y casos complejos se podrían solucionar o evitar en el laboratorio mediante la utilización de sistemas genómicos a través de secuenciación de nueva generación, debido a que permiten analizar de manera simultánea una gran cantidad de marcadores (STRs autosómicos, X-STRs, Y-STRs y SNPs), e incluso permiten inferir fenotipos y la ancestría biogeográfica en una misma prueba.

### Genómica forense

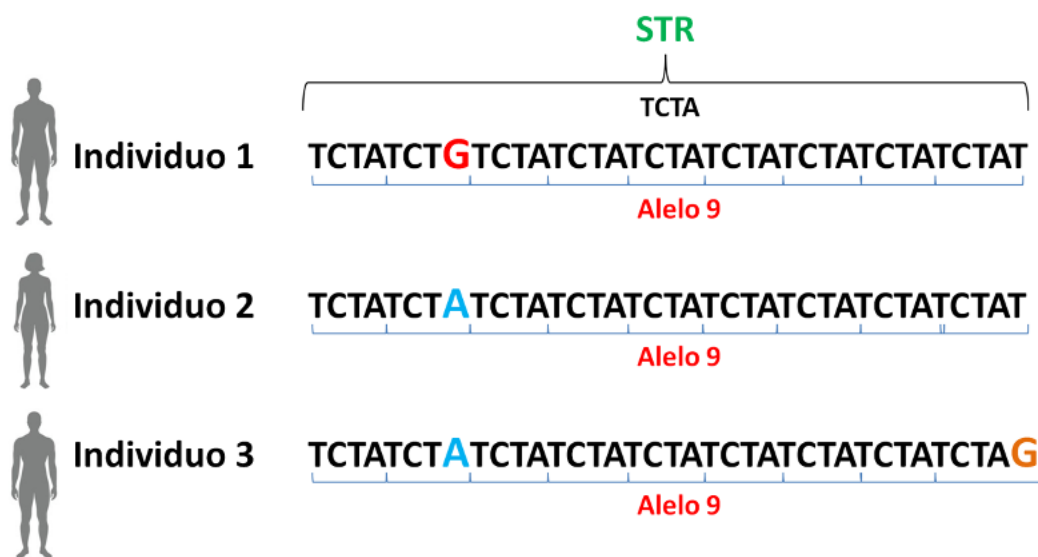
La secuenciación tradicional de DNA basada en el método de Sanger es comúnmente realizada en sistemas de electroforesis capilar (CE, por sus siglas en inglés) acoplados a detección multifuorescente (9). Fue hasta el año 2005 que aparecieron sistemas que realizaban secuenciación bajo los principios del método de Sanger pero de forma paralela y masiva, aumentando el rendimiento de datos y reduciendo en gran medida su costo y tiempo de análisis. Estos son los llamados sistemas de secuenciación de siguiente generación (NGS, por sus siglas en inglés) o secuenciación masiva paralela (MPS, por sus siglas en inglés). En la actualidad existe una gran diversidad de métodos de secuenciación de siguiente generación, como es el caso de la secuenciación por síntesis, pirosecuenciación, secuenciación por ligación, secuenciación por nanoporos y secuenciación por hibridación, entre otros.

Las tecnologías que analizan de manera simultánea una gran cantidad de marcadores, como la MPS y los microarreglos, dieron origen a lo que actualmente se conoce como genómica forense, y

se refiere al empleo de las técnicas genómicas antes mencionadas para la secuenciación de un gran número de marcadores moleculares a lo largo de todo el genoma, con la finalidad de apoyar en la resolución de casos de orden legal. Los sistemas actuales de genómica forense son de amplia utilidad debido a que permiten conocer la secuencia nucleotídica de los STRs y además facilitan el análisis simultáneo de diferentes tipos de marcadores en un mismo ensayo, como por ejemplo STRs autosómicos, X-STRs y Y-STRs, así como de SNPs informativos de identidad, de fenotipos y de ancestría biogeográfica.

La CE es la técnica de rutina utilizada en los laboratorios de genética forense y permite determinar qué alelos están presentes en uno o más marcadores moleculares, por ejemplo, una adenina (A) o guanina (G) en un determinado SNP, un alelo + o - en un INDEL, o un alelo específico en un STR (por ejemplo, alelo 7, 8 o 9). Sin embargo, con la información que se obtiene a partir de esta técnica no es posible conocer la secuencia interna de nucleótidos que conforma a los diferentes alelos de los STRs, lo que en ocasiones representa una gran limitante. Por su parte, los sistemas basados en MPS además de identificar el tamaño de los alelos (alelos basados en longitud) también permiten conocer

la secuencia interna de los STRs (alelos basados en la secuencia). Esto es muy importante, ya que aunque dos individuos tengan el mismo alelo en determinado marcador (por ejemplo, que ambas personas posean un alelo 7 en el marcador TPOX), no precisamente tendrán la misma secuencia de DNA que conforma ese alelo, por lo que podrían ser diferenciados a través de esas variaciones. Una manera sencilla de diferenciar los diferentes alelos con la misma longitud pero con diferente secuencia es identificando los alelos con una letra después del número de repeticiones, por ejemplo los alelos 7a y 7b. Para entender mejor esta diferencia, en la figura 3 se observan las secuencias de nucleótidos del marcador STR D8S1178 en tres individuos que poseen un alelo con la misma longitud (alelo 9) en uno de sus cromosomas homólogos. Aunque los tres individuos poseen alelos conformados por nueve repeticiones en el mismo STR, si se toma en cuenta la secuencia interna de la repetición (TCTA) es posible observar que los tres alelos tienen la misma longitud pero existe una diferencia en la secuencia en al menos un nucleótido, por lo tanto, se pueden diferenciar los tres alelos 9 por su secuencia de nucleótidos (alelos 9a, 9b y 9c). Esta diferencia en la secuencia interna de los STRs aumenta significativamente su poder de discriminación y



**Figura 3.** Caracterización de las diferencias en la secuencia interna de nucleótidos que poseen tres individuos con alelo 9 en el marcador D8S1178. Se observa que los alelos de los tres individuos poseen el mismo número de repeticiones por lo que todos poseen un alelo 9, sin embargo, es posible diferenciar a los tres individuos por las variaciones en la secuencia de nucleótidos que conforma cada uno de los alelos.

utilidad en casos forenses y de paternidad, como se ha demostrado en diferentes sistemas genómicos disponibles en el mercado.

Como se mencionó anteriormente, los sistemas de MPS también permiten analizar de manera simultánea (multiplex) una gran cantidad de marcadores, lo que facilita que en una misma reacción de secuenciación se puedan analizar tanto marcadores informativos de identidad como marcadores informativos de ancestría e informativos de fenotipos. Esta característica confiere una gran ventaja en casos complejos donde se busca identificar restos humanos en avanzado estado de descomposición o donde se busca reducir el número de sospechosos de acuerdo con las características fenotípicas y de ancestría que se puedan obtener a partir del ADN de las muestras biológicas implicadas en un caso criminal. Otra ventaja importante de la MPS es que genera información adicional a los marcadores que se secuencian, como es el caso de las secuencias de nucleótidos que se encuentran en las regiones adyacentes al marcador molecular (regiones flanqueantes) y los sitios de unión de los cebadores o primers, en los que se han identificado SNPs que generan microhaplotipos y mejoran de manera importante los resultados (10).

Por otro lado, los secuenciadores de DNA basados en MPS han permitido que se generen grandes avances tecnológicos en el área forense, ya que se han desarrollado técnicas para inferir la edad de un individuo a través de los patrones de metilación en el DNA, por mutaciones en el DNA mitocondrial (mtDNA) y por RNAs (mRNAs) (11, 12). También por medio de chips de metilación de genoma completo se desarrolló un sistema que permite inferir con alta eficiencia la edad, sexo, estatura, índice de masa corporal, tabaquismo, relación cadera-cintura y consumo de fármacos hipolipemiantes a partir de muestras de DNA. Recientemente se lograron identificar “sexomas” para la resolución de casos de abuso sexual, donde el término hace referencia a la huella particular del microbioma que posee cada individuo en el área genital y que puede ser usado para identificar si una persona estuvo implicada en una violación sexual (13).

#### *Kits comerciales de genómica forense*

Actualmente hay disponibles en el mercado diferentes kits de amplificación basados en las tecnologías que generan datos masivos, como el sistema

Precision ID NGS System de Applied Biosystems™, que incluye paneles de STRs y SNPs para ascendencia e identidad, así como para la región control o genoma completo del ADN mitocondrial. También están disponibles en el mercado los sistemas ForenSeq™ de Verogen, entre los que se incluyen el ForenSeq™ Kintelligence kit que incluye una gran cantidad de SNPs para estudios de parentesco, el ForenSeq™ MainstAY kit que incluye tanto marcadores autosómicos como de cromosoma Y, los kits ForenSeq™ mtDNA Whole Genome kit y ForenSeq™ Control Region kit que permiten analizar la secuencia del ADN mitocondrial, y el ForenSeq™ DNA Signature Prep. Este último destaca porque posee dos sets diferentes de marcadores, el Primer Mix A que comprende marcadores informativos de identidad (STRs, X-STRs, Y-STRs y SNPs), y el Primer Mix B que contiene todos los marcadores del Mix A más 24 SNPs informativos de fenotipos (color de ojos y cabello) y 56 SNPs informativos de ascendencia biogeográfica. También está disponible en el mercado el kit HIrisPlex-S, que es un sistema que permite analizar 41 SNPs para inferir el color de ojos, de cabello y de piel a partir de muestras de DNA y está disponible tanto para tecnologías basadas en MPS como en CE, aunque para este se requiere realizar múltiples reacciones de PCR. Por último, se han reportado muchos sistemas en artículos científicos que proponen conjuntos de marcadores para inferir una gran cantidad de fenotipos (color de piel, cabello, ojos, estatura, pecas, hoyuelos, edad, hábitos como fumar y consumo de fármacos, entre otros), aunque aún no están disponibles comercialmente.

#### *Genómica forense en México*

Actualmente en México existe una profunda crisis forense en materia de identificación humana, que es evidenciada por las 95,121 personas desaparecidas de las que se tenía registro hasta el año 2021, así como por más de 52,000 cadáveres que no habían sido identificados hasta ese momento (14). Las ventajas que ofrece la tecnología de MPS podrían ayudar a identificar muchos de los elementos óseos humanos que no han podido ser identificados ya sea porque las muestras de DNA están muy degradadas o por la falta de muestras de referencia de familiares de primer grado. Actualmente las tecnologías de genómica

forense tienen un precio elevado y aunque ya se utilizan regularmente en algunos países de Europa y Asia, su implementación en México –al igual que en otros países latinoamericanos– ha avanzado a paso lento. Hasta el conocimiento del autor de este texto, existe un número muy limitado de equipos de MPS de uso forense en los estados de la República Mexicana, como por ejemplo en Nuevo León, Jalisco y Ciudad de México, y la mayoría de estos equipos son usados principalmente con fines de investigación científica. Hasta la fecha en que se escribió este artículo, se habían publicado solamente dos estudios de genómica forense en poblaciones mexicanas, el primero donde se estableció una base de datos genómica de 152 marcadores informativos de identidad (aSTRs, X-STRs, Y-STRs y SNPs) y se determinó que cuando se considera la variación de la secuencia interna de nucleótidos que conforma a los STRs hay un incremento del 46% en el número de alelos, lo que aumenta de manera importante la informatividad de ese sistema genético (15). Otro aspecto importante de ese trabajo es que todos los haplotipos de Y-STRs que se observaron fueron diferentes (capacidad discriminatoria del 100%), lo que mejoró en gran medida en comparación con los estudios previos que se han realizado en esa misma población. Mientras que el segundo estudio consistió en la evaluación de la eficiencia de un panel de 24 SNPs para inferir el color de ojos y cabello, donde se concluyó que en la población mexicana estudiada es posible inferir el color de ojos con un 96.6% de efectividad, mientras que para inferir el color de cabello se observó una efectividad del 68-71%, donde se destaca que el cabello negro se puede inferir con mayor efectividad, en comparación con el café oscuro (16). Una limitante de ese último trabajo es que la mayoría de las muestras analizadas presentaron cabello oscuro (negro y café oscuro) y ojos cafés, lo que impidió evaluar la eficiencia de ese sistema genómico para inferir otros colores como cabello rubio, cabello rojizo y ojos azules. Ambos estudios se realizaron en población de Monterrey empleando el kit ForenSeq™ DNA SignaturePrep de la marca Verogen.

A pesar de que estos trabajos significan un gran avance en el área forense, es necesario desarrollar más estudios con sistemas genómicos forenses en otras poblaciones del país que permitan generar bases de datos y parámetros estadísticos de interés forense.

Esto permitirá que los laboratorios forenses en nuestro país puedan hacer uso de los datos disponibles en la literatura científica para resolver casos complejos de identificación humana, donde no se hayan obtenido resultados favorables con el análisis convencional con kits de genética forense basados en EC.

## Conclusiones

Entre las medidas que se pueden implementar para combatir la crisis forense en México se encuentra el uso de técnicas genómicas más novedosas que permiten esclarecer casos complejos donde los sistemas genéticos tradicionales pueden ser insuficientes. Las técnicas de genómica forense presentan muchas ventajas respecto a los sistemas basados en EC, entre las que destaca que permiten analizar de manera simultánea STRs y SNPs, así como el análisis de SNPs informativos de fenotipos y de ancestría, e incluso permiten determinar la secuencia interna de nucleótidos de los STRs y las mutaciones presentes en las regiones adyacentes a los sitios de interés. Debido a lo anterior, es necesario realizar un mayor número de estudios poblacionales donde se evalúen kits de genómica forense con la finalidad de que los laboratorios forenses que forman parte del sistema de procuración de justicia tengan datos de referencia para interpretar correctamente los casos de identificación humana basados en las nuevas tecnologías.

## Bibliografía

1. Landsteiner K. Zur Kenntnis der antifermentativen, lytischen und agglutinierenden Wirkungen des Bluteserums und der Lymphe. *Zentralblatt Bakteriologie*. 1900; 27, 357-362.
2. Davey FR, Hubbell CA, Lauenstein KJ, Tinnesz C, Henry JB. Analysis of paternity. The use of HLA and red cell antigens. *Transfusion*. 1984;24(4):340-342. doi:10.1046/j.1537-2995.1984.24484275578.x
3. Alonso-Alonso A. Regiones microsatélites del genoma humano (Short Tandem Repeat) Aplicaciones en Genética Forense. En: M.B.M. Jarreta (ed.), *La prueba del DNA en medicina Forense*. 1999; Barcelona España.
4. Urquhart A, Kimpton CP, Downes TJ, Gill P. Variation in short tandem repeat sequences—a survey of twelve microsatellite loci for use as forensic identification markers. *Int. J. Legal Med.* 1994; 107 (1), pp. 13-20.
5. García-Aceves ME, Romero Rentería O, Díaz-Navarro XX, Rangel-Villalobos H. Paternity tests in Mexico: Results obtained in 3005 cases. *J Forensic Leg Med.* 2018; 55, 1-7. doi: 10.1016/j.jflm.2018.02.003.

6. Quiroz-Mercado JA, Ríos-Rivas RJ, Martínez-Sevilla VM, Chávez-Marín G, Jaimez-Díaz H, Santiago-Hernández JC, Maldonado-Rodríguez R, Rangel-Villalobos H. Analysis of fortuitous matches in a STR genotype database from Mexico and its forensic efficiency parameters. *Egypt J Forensic Sci.* 2017; 7, 19. <https://doi.org/10.1186/s41935-017-0022-x>
7. Guzmán-Alberto JC, Martínez-Cortés G, Rangel-Villalobos H. Inference of maternal uniparental disomy of the entire chromosome 2 from a paternity test. *Int J Legal Med.* 2019; 133(1):71-75. <https://doi.org/10.1007/s00414-018-1811-y>.
8. González-Herrera LJ, García-Aceves ME, Domínguez-Cruz MD, López-González PN, Sosa-Escalante JE, Rangel-Villalobos H. A four-step mutation at D22S1045 in one complex paternity case when the brother of the alleged father hypothesis is evaluated. *Int J Legal Med.* 2020;134(5):1653. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02335-8>.
9. Sanger F, Nicklen S, Coulson AR. DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1997; 74, 5463-7. <https://doi.org/10.1073/pnas.74.12.5463>.
10. Davenport L, Devesse L, Syndercombe Court D, Ballard D. Forensic identity SNPs: Characterisation of flanking region variation using massively parallel sequencing. *Forensic Sci Int Genet.* 2023; 64, 102847. doi: 10.1016/j.fsigen.2023.102847.
11. Vidaki A, Ballard D, Aliferi A, Miller TH, Barron LP, Syndercombe Court D. DNA methylation-based forensic age prediction using artificial neural networks and next generation sequencing. *Forensic Sci Int Genet.* 2017. 28, 225-236. doi: 10.1016/j.fsigen.2017.02.009.
12. Zubakov D, Liu F, Kokmeijer I, Choi Y, van Meurs JBJ, van IJcken WFJ, Uitterlinden AG, Hofman A, Broer L, van Duijn CM, Lewin J, Kayser M. Human age estimation from blood using mRNA, DNA methylation, DNA rearrangement, and telomere length. *Forensic Sci Int Genet.* 2016. 24, 33-43. doi: 10.1016/j.fsigen.2016.05.014.
13. Dixon R, Egan S, Hughes S, Chapman B. The Sexome -A proof of concept study into microbial transfer between heterosexual couples after sexual intercourse. *Forensic Science International.* 2023; 348. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111711>.
14. United Nation Human Rights. Conferencia de prensa tras la visita del Comité de la ONU contra la Desaparición Forzada a México. 2021; 1-6.
15. Aguilar-Velázquez JA, Duran-Salazar MA, Córdoba-Mercado MF, Coronado-Avila CE, Salas-Salas O, Martínez-Cortés G, et al. Characterization of 58 STRs and 94 SNPs with the ForenSeq™ DNA Signature Prep Kit in Mexican-Mestizos from the Monterrey City (Northeast, Mexico). *Mol Biol Rep.* 2022; 49(8):7601-7609. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07575>.
16. Aguilar-Velázquez JA, Llamas-de-Dios BJ, Córdoba-Mercado MF, Coronado-Ávila CE, Salas-Salas O, Lopez-Quintero A, Ramos-González B, Rangel-Villalobos H. Accuracy of Eye and Hair Color Prediction in Mexican Mestizos from Monterrey City Based on ForenSeq™ DNA Signature Prep. *Genes (Basel).* 2023;14(5). <https://doi.org/10.3390/genes14051120>.