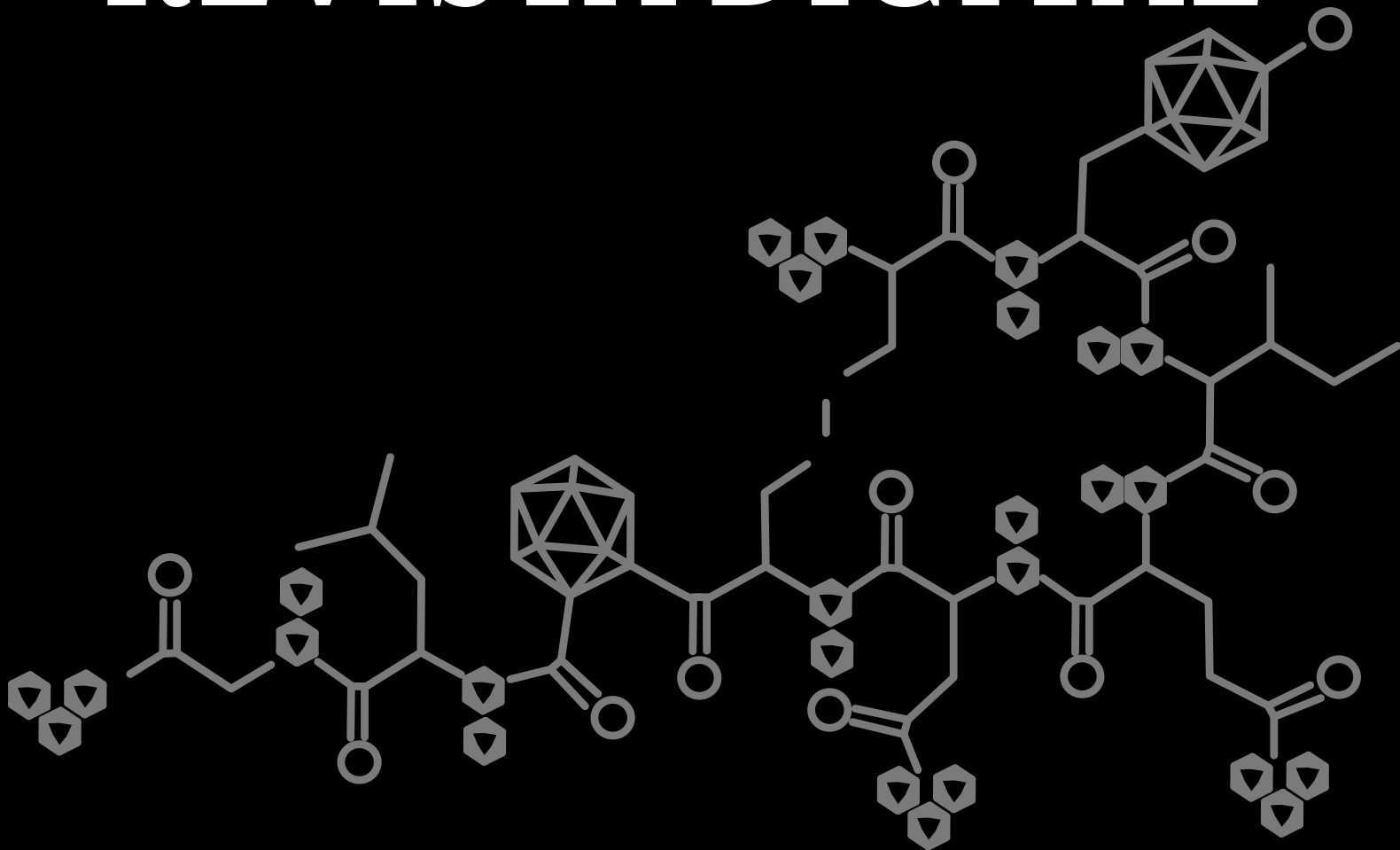


RECIF



Año 1 No. 2

# REVISTA DIGITAL



# DE CIENCIA FORENSE



Facultad de Medicina



**Rector**

Dr. Enrique Graue Wiechers

**Director**

Dr. Germán E. Fajardo Dolci

**Secretaria General**

Dra. Irene Durante Montiel

**Coordinadora Licenciatura Ciencia Forense**

Dra. Zoraida García Castillo

**Editor**

Dr. Mirsha Quinto Sánchez

**Consejo editorial**

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

**REVISTA DIGITAL DE CIENCIA FORENSE,**

Año. 1, No. 2, octubre-marzo 2022. Publicación semestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Universidad 3000, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Forenses (ENaCiF), Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Col. Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Teléfono 56-23-23-00 ext. 24210, <http://recif.unam.mx/>, correo electrónico: [recif@enacif.unam.mx](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 2022.

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

Producción editorial: Mirsha Quinto Sánchez, Vicente Torres.

Diseño, maquetación: Mirsha Quinto Sánchez.

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

Diseño de portada: María Fernanda Del Pilar Valdez.

Diseño del logo de la revista: Emir Romero Borbolla.

# ÍNDICE

a	Editorial
	<b>Artículos de investigación</b>
1	Validación de un método para alcoholemia: un enfoque con interferencia de anestésicos <i>Joel Martínez Quiroz, Rosa María Esther González Rodríguez</i>
13	Optimización de métodos GC-MS para la detección de metanfetamina, cocaína y fentanilo empleando la estrategia Lean Six Sigma <i>María de Jesús Bejarano Uzeta, Julio Eduardo Caudillo Rosales, Fabiola Guadalupe Magdaleno Ruiz, Araceli Saldaña Lagunas</i>
27	Enseñanza de la ciencia forense durante la pandemia de covid-19 <i>Luis Jiro Suzuri Hernández, Ana María Sosa Reyes</i>
	<b>Artículos de investigación realizados por estudiantes</b>
66	Psicología del testimonio: una necesidad para infancias y adolescencias mexicanas <i>Bárbara Guadalupe Hernández Vargas</i>
84	Valor probatorio de las pruebas periciales científicas en el proceso penal acusatorio <i>Juan Manuel Pastrana Ortega</i>
	<b>Artículos de divulgación del modelo educativo</b>
99	Comparación del aprendizaje de los criminalistas con enfoque tradicional y socioformativo <i>Rubén Leonardo Guerrero Macías</i>
	<b>Artículos de divulgación/difusión</b>
115	La bioinformática en las ciencias forenses <i>Guadalupe María Silva Peña, Julio César Cabrera Hernández, Maritere Domínguez Rojas</i>

## Reseñas de libros

- 115 Avances en Antropología Forense  
*Jorge A. Gómez-Valdés*
- 130 Guías para la valoración judicial de la prueba pericial en materia de genética, toxicología, lofoscopia y análisis de voz  
*Zoraida García Castillo*
- 132 Guía BUSCA: protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas  
*Mirsha Quinto-Sánchez*

# EDITORIAL

## Año 1, Número 2

La ciencia abierta (*open science*) es un movimiento social para hacer que la investigación científica y su difusión sean accesibles a todos los niveles de la sociedad, aficionados o profesionales. El conocimiento científico de todo tipo debe compartirse abiertamente tan pronto como sea práctico en el proceso de descubrimiento, cita *opencienceASAP* (1). La ciencia se piensa de manera muy amplia e incluye todas las disciplinas, la investigación y la docencia, así como los proyectos y el ámbito social. La participación en el conocimiento y su creación debe hacerse accesible a tantas personas como sea posible (1), para masificar de información científica a la sociedad.

La Unesco (2) ha realizado recomendaciones sobre la ciencia abierta que incluyen: metodologías, códigos, hardware, datos, revisión por pares, infraestructura, recursos educativos, participación de agentes sociales, apertura a diversidad de conocimientos; todos ellos para lograr procesos más rigurosos, reproducibles, transparentes y de mayor impacto científico y social.

En este contexto, la **RECIF** se ha construido desde la filosofía de ciencia abierta como un contrapeso a las tendencias hegemónicas de la privatización de la ciencia, de evaluación científica y las asimetrías de clase, género y origen, que permean el conocimiento científico en nuestros días. Una apuesta a generar reportes científicos de calidad para la comunidad científica local, regional e internacional. La construcción de este producto editorial es la sumatoria de muchos esfuerzos de colegas, profesores y diseñadores, entusiastas por la contribución a la **RECIF**. En especial, se agradece a los revisores que permiten que el proceso de publicación sea de calidad conforme su criterio científico.

El consejo editorial de la **RECIF** se congratula en presentar el segundo número de este primer año de la Revista Digital de Ciencia Forense, que está integrado por 10 comunicaciones. De forma específica, se presentan en *Artículos de Investigación* tres contribuciones. El primero "*Validación de un método para alcoholemia: un enfoque con interferencia de anestésicos*" publica un método para confirmar la presencia de etanol en muestras de sangre de personas que pudieron recibir atención en hospitales, empleando para ello un cromatógrafo acoplado a un espectrómetro de masas. La segunda contribución "*Optimización de métodos GC-MS para la detección de metanfetamina, cocaína y fentanilo empleando la estrategia Lean Six Sigma*" presenta la metodología Lean Six Sigma para la identificación de metanfetamina, cocaína y fentanilo mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Finalmente, el tercer artículo "*Enseñanza de la ciencia forense durante la pandemia de covid-19*" reflexiona sobre las estrategias y métodos que permitieron a profesores la enseñanza de las ciencias forenses en condiciones pandémicas de aislamiento, todo ello mediante una revisión de literatura.

Además, se han presentado dos artículos de investigación realizados por estudiantes, el primero "*Psicología del testimonio: una necesidad para infancias y adolescencias mexicanas*" se hace una revisión teórica sobre la forma de obtención de testimonios en el sistema de justicia en México en casos de abuso sexual infantil en niñas, niños y adolescentes, argumentando la importancia de la psicología del testimonio y aportando aspectos relevantes para la praxis psicológica en nuestro país. Después, como segunda contribución, se presentó "*Valor probatorio de las pruebas periciales científicas en el proceso penal acusatorio*" donde se hace un análisis jurídico de cómo el cambio de

sistema penal en México generó una nueva perspectiva en relación a la valoración de las pruebas periciales, pero sobre todo a su alcance probatorio, para ello se propone la incorporación de un estándar que reformaría diversos artículos del Código Nacional de Procedimientos Penales.

Por primera vez se presenta un *Artículo de Divulgación del Modelo Educativo* titulado “*Comparación del aprendizaje de los criminalistas con enfoque tradicional y socioformativo*” en el que se comparan los resultados del proceso de enseñanza de un curso a dos grupos, comparando un corte tradicional respecto de uno por estudio de caso.

Respecto de la *Difusión/Divulgación* encontramos una contribución “*La bioinformática en las ciencias forenses*” donde se recopilan herramientas bioinformáticas y bases de datos de DNA forense tanto a nivel mundial como nacional, identificando las más favorables para el contexto mexicano.

Finalmente, se presentan tres *Reseñas de Libros* publicados en la Licenciatura en Ciencia Forense, el primero *Avances en Antropología Forense*, las *Guías para la valoración judicial de la prueba pericial en materia de genética, toxicología, lofoscopia y análisis de voz* y los *Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas*. Publicaciones que brindan la oportunidad de acceder a investigación mexicana realizadas en universidades públicas del país.

Nuevamente, la **RECIF** pone al alcance de la sociedad, investigación de carácter libre, de aplicación forense, gestionada desde diversas instituciones del país. Elevamos el desafío a peritos, investigadores, profesores, consultores, expertos, alumnos y profesionales a presentar sus trabajos para los siguientes volúmenes de la revista.

**Mirsha Quinto-Sánchez**

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

*Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.*

## Citas

1. [openscienceasap.org](http://openscienceasap.org)
2. [www.unesco.org/en/natural-sciences/open-science](http://www.unesco.org/en/natural-sciences/open-science)





## ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN



## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Validación de un método para alcoholemia: un enfoque con interferencia de anestésicos

Joel Martínez Quiroz<sup>1✉</sup>, Rosa María Esther González Rodríguez<sup>1</sup><sup>1</sup>Dirección General de los Servicios Periciales. FGE-Veracruz. Circuito Primavera s/, Unidad Nuevo Xalapa, Xalapa, Veracruz, México.

✉ joemartinez@uv.mx

## Datos del artículo

Cita: Martínez Quiroz Joel, González Rodríguez Rosa María Esther. 2022. Validación de un método para alcoholemia: un enfoque con interferencia de anestésicos. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(2): 1-12 pp.

Editor: María Elena Bravo Gómez.

Recibido: 11 noviembre 2021.

Aceptado: 17 junio 2022.

Publicado: 28 octubre 2022.

## Resumen

La cromatografía de gases convencional (HS-GC-FID) es la técnica de elección para la determinación de alcohol etílico en fluidos biológicos. En caso de un resultado positivo, existe la convención de realizar un segundo ensayo, pero empleando una fase estacionaria distinta a la primera. Sin embargo, se han reportado limitaciones en la selectividad de este método debido a que algunos analitos como el sevoflurano y el enflurano, coeluyen o interfieren en la identificación plena del etanol y el cambio de columna cromatográfica no resuelve en su totalidad el inconveniente que se presenta con estos anestésicos. Por consiguiente, el presente trabajo propone un método alternativo para confirmar la presencia de etanol. Lo anterior, mediante el acoplamiento del cromatógrafo a un espectrómetro de masas (HS-GC-MS). Esta técnica brindó un método válido con un límite de detección de 0.58 g/L, adecuado en los casos de manejo de vehículos bajo la influencia de bebidas embriagantes; con precisión aceptable (C.V.  $\leq$  15%), libre de arrastre cromatográfico con una concentración de hasta 4.375 g/L. El método también resultó libre de interferencias como tolueno, cloroformo, n-butanol, metil terbutil éter, alcohol isoamílico; inclusive de anestésicos como el halotano, el isoflurano, el uretano y el propofol; los cuales no sería posible distinguirlos en un análisis toxicológico convencional. El método podría aplicarse en el análisis de muestras de sangre obtenidas a partir de pacientes o personas fallecidas quienes previamente hayan recibido terapia hospitalaria; a fin de descartar que el pico cromatográfico pueda deberse a la interferencia de algún anestésico.

**Palabras clave:** alcoholemia, anestésicos, interferencia, validación.

## Abstract

Headspace-gas chromatography with flame ionization detector (HS-GC-FID) prevails as the choice technique for blood alcohol determination (BAC) and other biological fluids. Almost all forensic laboratories include this routine procedure by analyzing two replicates of blood and confirm consequently, a positive result by using another stationary phase. However, certain analytes, as anesthetics sevoflurane and enflurane, have showed interference by co-eluting with ethyl alcohol, which affects method selectivity and makes interpretation difficult to reach. This paper proposes a method (HS-GC-MS), which use a mass spectrometer coupled to a gas chromatograph in order to confirm a BAC positive result in cases which blood samples come from hospitalized patients. The limit of detection for ethanol was 0.58 g/L, just below the legal threshold to drive vehicles under influence. Precision was acceptable and chromatographic carryover was not observed with alcohol concentration up to 4.375 g/L. Selectivity was adequate because the method was free of interferences as toluene, chloroform, n-butanol, methyl terbutyl ether, isoamyl alcohol and even with anesthetics as isoflurane, urethane, halothane and propofol. The present method could be used to analyze blood samples, which were obtained from corpses or patients previously subjected to hospital therapy, in order to confirm an alcohol positive result or to discard it because the presence of some anesthetic compound.

**Keywords:** blood alcohol, anaesthetics, interference, validation

## Introducción

El análisis toxicológico cualitativo tiene como objetivo determinar mediante una serie de procesos (pretratamiento de muestras, extracción-purificación y análisis instrumental), la presencia o ausencia de sustancias tóxicas en una muestra biológica (1). La cromatografía de gases con automuestreador headspace y detector de ionización de flama (HS-GC-FID, por sus siglas en inglés), es la técnica de elección para la determinación cualitativa y cuantitativa de alcohol etílico en fluidos biológicos, la cual no requiere una preparación laboriosa de la muestra, por lo que los resultados se obtienen en cuestión de minutos (2). En caso de un resultado positivo, existe la convención de realizar un segundo ensayo, pero con una variación sustantiva en el sistema cromatográfico, al emplear una fase estacionaria distinta a la primera (3,4), e.g. DB-ALC1 vs DB-ALC2. Esta estrategia permite, en ciertos casos, resolver el inconveniente cuando existe interferencia de alguna sustancia que coeluye con el etanol; lo que se denomina falta de selectividad. Al respecto, la selectividad es la capacidad para producir una señal inequívoca del analito en la presencia de otras sustancias bajo las condiciones instrumentales del método y se considera éste el parámetro más importante de todos los que implican a una validación (5). Recientemente, se han reportado insuficiencias en la selectividad del método para determinar alcohol etílico en presencia de anestésicos con la técnica HS-GC-FID. Estas deficiencias radican en una interferencia del pico cromatográfico del sevoflurano con el del etanol (6), o una interferencia del pico del enflurano con el pico del estándar interno tert-butanol (7). Resulta importante considerar que, en años recientes, la tasa de colisiones fatales de vehículos automotores cuyo conductor presentaba aliento alcohólico ha aumentado en la población juvenil (8), que cerca del 10% de los lesionados en este estado ingresan a algún nosocomio y que son pacientes susceptibles para recibir terapia con anestésicos. Estos inconvenientes obligan al toxicólogo analítico a explorar una alternativa a la técnica cromatográfica convencional en la determinación de alcoholemias. Actualmente, la técnica de espectrometría de masas acoplada a la cromatografía de gases con automuestreador headspace (HS-GC-MS, por sus siglas en inglés), se ha validado para el análisis de etanol en sangre en casos en los que se sospecha de intoxicación por inhalantes como tolueno (9), o de abuso de propelentes (10). El presente trabajo tiene por objetivo la validación de un método analítico para determinar cualitativamente alcohol etílico en sangre mediante el sistema espectrometría de masas acoplada a la cromatografía de gases con automuestreador headspace con énfasis en el análisis simultáneo de anestésicos como isoflurano, uretano, halotano y propofol.

## Material y Método

### Reactivos

Se utilizó alcohol etílico absoluto anhidro (J.T. Baker, USA) como sustancia orgánica volátil de interés (SOV), así como cloroformo, alcohol isoamílico, n-butanol, isobutanol, metil etil cetona (J.T. Baker, USA), alcohol alílico (Merck, USA), metil terbutil éter y tolueno (Sigma Aldrich, USA) para valorar la selectividad con otras SOV. En lo que respecta a la evaluación de la selectividad con fármacos anestésicos, se emplearon los anestésicos que se distinguen por ser de fácil acceso y por emplearse además como drogas de recreación o de abuso (11, 12). Se emplearon halotano (Hoechst, Alemania) e isoflurano (VEDCO, USA), uretano (Sigma-Aldrich, USA) y propofol (Baxter, USA); así como agua destilada (J.T. Baker, USA).

Para la selectividad con los isotopos se utilizó etanol-1,1,2,2,2-d5 (Sigma-Aldrich, USA).

Se empleó *pool* de sangre completa como matriz para las pruebas de límite de detección y arrastre cromatográfico (*carryover*).

### Instrumentación

Se utilizó un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas modelo 6890 con un detector de masas 5973N (Agilent Technologies). El horno del cromatógrafo se acondicionó con una columna DB-5MS de 25 m x 0.20 mm x 0.33  $\mu$ m con 5% fenil y 95% metilpolisiloxano y se trabajó con una programación de temperatura inicial de 52°C durante 3.20 min hasta alcanzar una temperatura de 115°C a una velocidad de 60°C/min manteniéndose por 1.45 min con un tiempo de corrida de 5.7 min. Para la columna se usó una presión de 16.36 psi con un flujo de 0.9 mL/min y una velocidad media de 39 cm/seg usando helio como gas acarreador. La temperatura del inyector fue de 100°C.

El espectrómetro de masas se operó en modo Scan, sin solvent delay y en un intervalo de masas de 33-200 m/z.

El automuestreador headspace modelo G1888 (Agilent Technologies) trabajó con una temperatura de 80°C para el horno, 90°C para la aguja y 100°C para la línea de transferencia. El tiempo de corrida fue de 5.7 min, los viales se calentaron en termostato durante 5 min, se presurizaron durante 5 min, tiempo de llenado de la aguja de 0.20 min y 0.05 min para su equilibrio respectivamente. Por último, el tiempo de inyección fue de 0.02 min.

Los parámetros considerados para la validación de este método fueron tomados a partir de los criterios del grupo de trabajo científico en toxicología forense, SWGTOX (13).

### *Parámetros de validación*

#### Limite de detección

Con base en el criterio de SWGTOX (13) que sugiere emplear a una “concentración de punto de decisión” como límite de detección; se preparó sangre fortificada con etanol a una concentración de 0.585 g/L, establecida con base en concentraciones clínicas reportadas por la Secretaría de Salud (14), las cuales se analizaron por triplicado en tres días distintos para poder evaluar repetibilidad y reproducibilidad.

#### Arrastre cromatográfico (*Carryover*)

Para valorar si el método presentaba arrastre cromatográfico se preparó sangre fortificada con etanol a una concentración de 4.375 g/L, la cual se analizó por triplicado, intercalando en cada réplica un blanco de sangre libre de volátiles, esto por tres días consecutivos.

### *Selectividad*

#### Interferencia de la sangre

Se ensayaron diez muestras de sangre provenientes de fuentes diferentes a las cuales no se les adicionó etanol o su estándar marcado isotópicamente.

#### Anestésicos

Para evaluar la interferencia entre el etanol y anestésicos se prepararon soluciones de halotano, uretano, isoflurano y propofol a concentraciones finales de 0.260 g/L, 0.380 g/L, 0.07 g/L y 0.5 g/L respectivamente, las cuales corresponden a las concentraciones plasmáticas reportadas por Archer et al. (15), Winek et al. (16), y Guitton et al. (17). No se evaluó a los metabolitos de los anestésicos señalados en virtud de que la interferencia manifiesta que se ha reportado para algunos de ellos, se da con la sustancia administrada y en situaciones en las que se especula una intoxicación aguda que puede conllevar a la muerte por sobredosis (12).

#### Otras sustancias orgánicas volátiles

Para determinar las posibles interferencias de etanol con otras sustancias orgánicas volátiles comúnmente encontradas, se empleó cloroformo, alcohol isoamílico, n-butanol, isobutanol, metil etil cetona, alcohol alílico, metil terbutil éter y tolueno.

#### Estándares marcados isotópicamente

Las pruebas de selectividad con estándares marcados isotópicamente se llevaron a cabo con tres triplicados diferentes, el primero de blancos de sangre, el segundo fortificado con etanol deuterado-d5 a una concentración de 2.438

g/L y el tercero fortificado con etanol no deuterado a una concentración de 2.332 g/L.

Para los ensayos de límite de detección y arrastre cromatográfico se usó una alícuota del estándar de sangre fortalecida de 200  $\mu$ L, mientras que los de selectividad se empleó 1  $\mu$ L de los anestésicos y de los compuestos orgánicos volátiles y para los ensayos con estándar marcado isotópicamente se utilizó una alícuota de 20  $\mu$ L las cuales se depositaron en un vial de vidrio de 20 mL sellado con una tapa de aluminio con septa de PTFE herméticamente.

### *Análisis estadísticos de los datos.*

Se empleó a la media como medida de tendencia central y a la desviación estándar y al coeficiente de variación como medidas de dispersión. Se empleó además el estadístico t de student de variables independientes para valorar el arrastre cromatográfico. El nivel de significancia empleado fue de  $\alpha = 0.05$ .

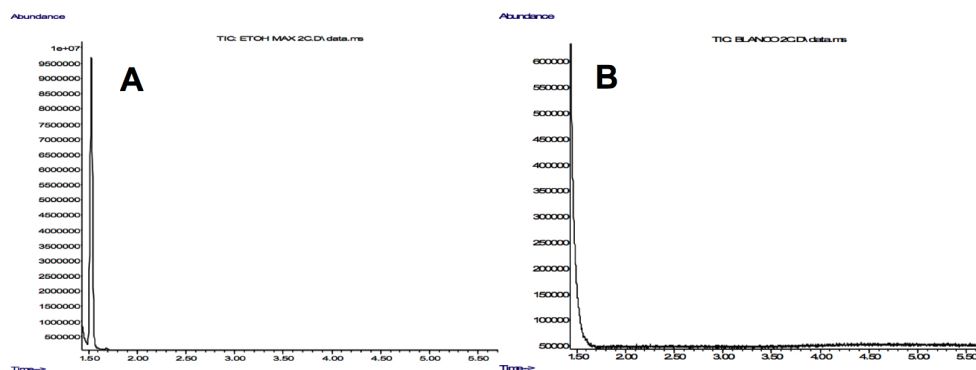
## Resultados

### *Límite de detección*

Se determinó el límite de detección de etanol en el sistema HS-GC-MS a una concentración de 0.585 g/L en virtud de que, a esta concentración, la precisión (repetibilidad y reproducibilidad) observada presentó una variación aceptable ( $C.V. \leq 15\%$ ) en el análisis de las réplicas (Tabla 1).

### *Arrastre cromatográfico (carryover).*

No se presentó arrastre cromatográfico en los ensayos replicados de sangre fortalecida con etanol a una concentración de 4.375 g/L, toda vez que en los cromatogramas obtenidos de los blancos de sangre no apareció señal residual de analito derivada de la inyección previa del fortificado, como se aprecia ilustrativamente en la figura 1.



**Figura 1.** Cromatograma de una réplica de etanol a una concentración de 4.375 g/L (panel A), en contraste con el obtenido del blanco de sangre analizado después del fortificado (panel B).

**Tabla 1.** Resultados de las alturas de los picos cromatográficos de réplicas de etanol a una concentración de 0.585 g/L.

Corrida	Réplica	Altura del pico	Repetibilidad	
Día 1	A	1,318,376	Media	1,189,630.333
	B	1,187,525	DS	127,706.0162
	C	1,062,990	CV	10.73%
Día 2	A	1,141,186	Media	1,150,197.333
	B	1,145,716	DS	11,902.4901
	C	1,163,690	CV	1.04%
Día 3	A	1,349,284	Media	1,326,968
	B	1,220,790	DS	96,965.4748
	C	1,410,830	CV	7.31%
Reproducibilidad	Media	1,222,265.222		
	DS	113,671.711		
	CV	9.3%		

DS= Desviación estándar, CV= Coeficiente de variación.

### Selectividad

#### Interferencia de la sangre

No hubo interferencia de los componentes propios de la sangre con el etanol, ya que la magnitud de la señal de línea base al tiempo de retención del analito, en los blancos de sangre fue significativamente menor ( $t_{17}=25.71$ ,  $p<0.05$ ), a la correspondiente señal del límite de detección del etanol (Tabla 2).

#### Compuestos orgánicos volátiles comúnmente encontrados

No se encontró interferencia con el etanol de las sustancias orgánicas volátiles valoradas, debido a que estas no eluyen en el mismo tiempo de retención que el analito de interés y su resolución fue mayor a 1.5. el cuál es el mínimo necesario (5), para considerar resueltos dos picos que eluyen próximos entre sí (Tabla 3).

#### Estándares marcados isotópicamente

La magnitud de la señal correspondiente al ion molecular ( $m/z = 46$ ) situada al tiempo de retención del etanol en los blancos de sangre (matriz sin etanol) fue insignificante comparada con la magnitud de la señal propia del analito. De igual modo, el ion molecular marcado isotópicamente ( $m/z = 51$ ) no presentó interferencia manifiesta con el ion molecular del analito natural (Tabla 4).

**Tabla 2.** Resultados de la valoración de interferencia de la sangre entre la concentración mínima de etanol (0.585 g/L) y blanco de sangre *post mortem*.

Mínima de concentración de etanol (Altura del pico)	Matriz sin etanol o blanco de sangre (Altura de la señal al TR de etanol)
1,318,376	76,000
1,187,525	140,000
1,062,990	108,000
1,141,186	88,000
1,145,716	77,000
1,163,690	110,000
1,349,284	140,000
1,220,790	198,000
1,410,830	169,000
N/D	290,000
Promedio	
1,222,265.222	139,600
DS	
113,617.711	66,161.7547

N/D= No determinado, TR= Tiempo de retención.

**Tabla3.** Tiempos de retención y resoluciones obtenidos de los compuestos orgánicos respecto a etanol.

Analito	Tiempo de retención	Resolución (R <sub>s</sub> )
Alcohol alílico	1.621	2.288
Metil terbutil éter	1.682	1.525
Metil etil cetona	1.817	5.985
Cloroformo	1.982	3.6
Isobutanol	2.019	6.12
n- butanol	2.308	6.37
Alcohol isoamilico	3.259	8.601
Tolueno	3.657	4.166

**Tabla 4.** Abundancias obtenidas del ion 46 y ion 51 en los triplicados de sangre sin etanol, con etanol y etanol deuterado.

Réplica	Sangre			
	Matriz (sin etanol)	Con etanol	Etanol deuterado	
	Ion 46	Ion 46	Ion 46	Ion 51
1	243	32,192	12,116	60,312
2	282	26,072	14,963	74,368
3	227	49,224	9,827	46,680

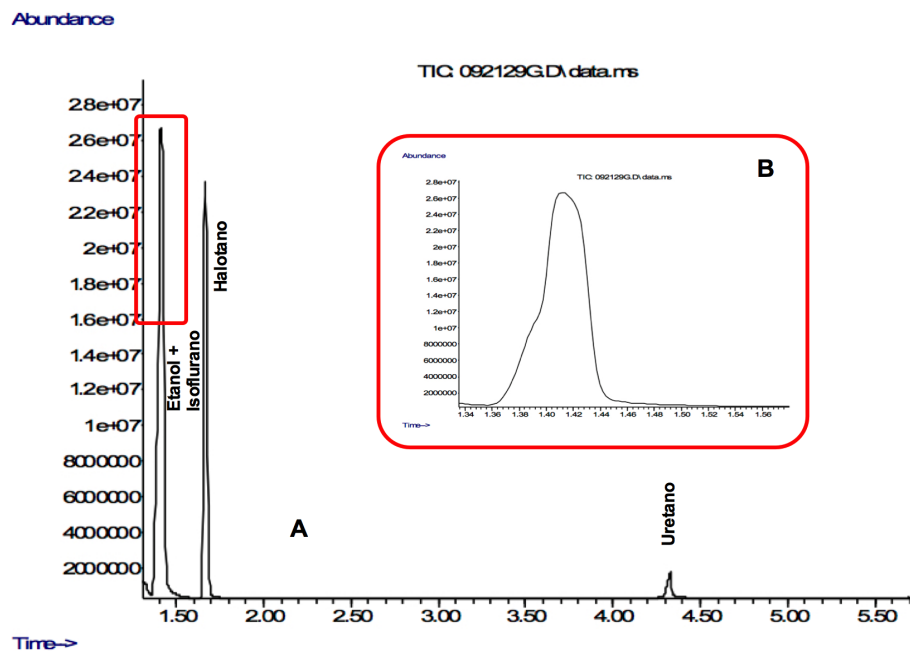
### Anestésicos

No se encontró interferencia con el etanol del halotano, uretano y propofol (Tabla 5), debido a que estos anestésicos no eluyen en el mismo tiempo de retención que el analito de interés y su resolución fue mayor a 1.5 (5). No obstante, bajo el criterio cromatográfico, el isoflurano se considera un interferente toda vez que se observó una resolución menor a 1, como se ilustra en la figura 2, en la cual se detalla la coelución de las dos sustancias.

**Tabla 3.** Tiempos de retención y resoluciones de anestésicos respecto a etanol.

Anestésico	Tiempo de retención (min)	Resolución (R <sub>s</sub> )
Isoflurano	1.423	0.3016
Halotano	1.682	3.72
Uretano	4.384	33.1111
Propofol	N/A	N/A

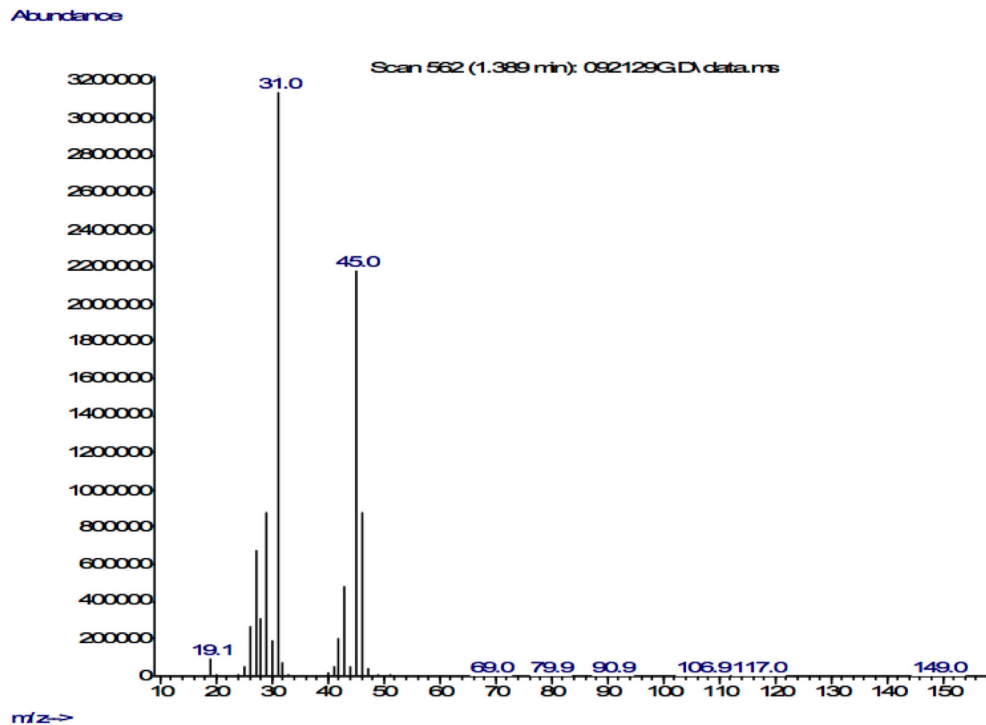
N/A= No apareció.



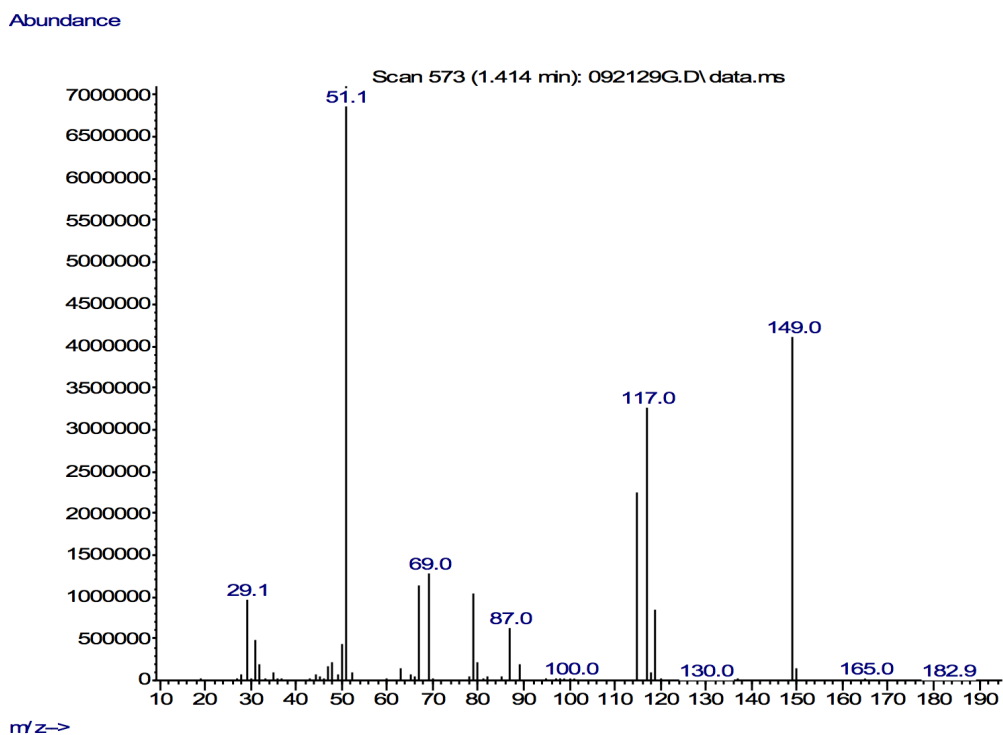
**Figura 2.** Cromatograma TIC del estudio de selectividad de etanol con los anestésicos isoflurano, halotano y uretano (panel A), con magnificación de la coelución del etanol con el isoflurano (panel B).

A pesar de la interferencia cromatográfica manifiesta entre el etanol y el isoflurano, el análisis por el acoplamiento HS-GC-MS si logra distinguir a los dos analitos coeluyentes con base en su espectro de masas, identificándose de este modo el etanol (Figura 3), con sus iones típicos  $m/z$  46<sub>24</sub>, 45<sub>38</sub>, 31<sub>100</sub>, 28<sub>50</sub> (18) y el isoflurano (Figura 4), con los iones típicos  $m/z$  149<sub>28</sub>, 117<sub>22</sub>, 51<sub>100</sub>, 115<sub>18</sub> (19).





**Figura 3.** Espectro de masas deducido del cromatograma TIC de la figura 2, mostrando la fracción de iones que eluyen a 1.389 min en el pico de coelución del etanol y el isoflurano.



**Figura 4.** Espectro de masas deducido del cromatograma TIC de la figura 2, mostrando la fracción de iones que eluyen a 1.414 min en el pico de coelución del etanol y el isoflurano.

## Discusión

En la validación de métodos empleados para el área forense, una precisión aceptable se da con un coeficiente de variación menor o igual al 20% cuando las concentraciones son bajas (20). El estudio de Xiao et al. (9) indica un límite de detección de 0.4 g/L y el de Tiscione et al. (10) de 0.1 g/L, con coeficientes de variación menores al 15% para un acoplamiento similar al presentado (HS-GC-MS). A pesar de que estas concentraciones son más bajas que la evaluada en este trabajo, se enfatiza la aplicación del presente método para muestras con resultado positivo previamente analizadas con un detector convencional (HS-GC-FID) y que además rebasen el límite legal permisible para el manejo de vehículos automotores (21), que es de 0.8 g/L de etanol en sangre (Art 50, SSC); por lo que, una vez identificado y cuantificado en el cromatógrafo convencional, no se hace necesario disponer de un sistema de detección tan sensible.

En lo que respecta al carryover para etanol, no existen reportes de que suceda arrastre cromatográfico en detrimento de algún método previamente ya validado (4, 9), aunque es indispensable ensayar este fenómeno en todo método cromatográfico, en virtud de que este inconveniente es serial por naturaleza y puede presentarse inclusive después del proceso de validación (22). En el presente trabajo se recomienda correr un testigo sin analito entre muestra y muestra para reducir al mínimo la contaminación cruzada entre las corridas.

De acuerdo con el SWGTOX (13), se indica que para determinar que un método es selectivo, es necesario evitar tres tipos de interferencia; la de matriz, la debida a otros analitos y la del marcaje isotópico en caso de utilizar estándares con isotopos estables. Al respecto, la sangre per se no presentó algún componente que interfiera con la señal del etanol, toda vez que tanto en la señal de línea base cromatográfica, como en la abundancia espectrométrica del ión molecular de etanol ( $m/z = 46$ ) en la región correspondiente a la elución del analito, la magnitud registrada no fue suficiente para considerarse como una interferencia manifiesta.

Cabe mencionar que en los métodos reportados para análisis de etanol por HS-GC-MS (4, 9), no se explora el uso de un marcador isotópico, lo que le brinda al presente trabajo una herramienta adicional para su empleo en perspectiva como método cuantitativo, debido a la nula interferencia del etanol deuterado, por lo que es pertinente su empleo mediante la técnica de estándar interno.

En lo que respecta a la posible interferencia debida a otros analitos, los valores de resolución de los picos cromatográficos de alcohol alílico, metil terbutil éter, metil etil cetona, cloroformo, isobutanol, n-butanol, alcohol isoamílico y tolueno fueron suficientemente elevados para considerar al método selectivo para estas sustancias orgánicas volátiles. Xiao et al. (9) solo valoraron n-propanol como otra SOV y Tiscione et al. (4) consideraron además de los incluidos en el presente al 1,1-diluoroetano, al desflurano, al sevoflurano, al

metanol, acetaldehído, pentano, isopropanol, cloruro de metileno, acetonitrilo por citar los más importantes. De todos ellos, el sevoflurano presentó un tiempo de retención más próximo al etanol empleando la fase estacionaria DB-ALC1. Al respecto, esta misma fase estacionaria eluyó al etanol y al sevoflurano a un mismo tiempo de retención en dos estudios independientes (6, 7), lo que evidentemente representa una interferencia cromatográfica ineludible. De modo similar, el isoflurano coeluye con el etanol en la fase estacionaria DB5-MS que se empleó en el presente trabajo. Es importante resaltar que ambos tipos de fase estacionaria suelen constituir a las columnas más empleadas en el área de toxicología forense (3), por lo que su selectividad en los sistemas cromatográficos convencionales se ve restringida si no se logra una correcta identificación del analito. Es por ello que la espectrometría de masas en el acoplamiento HS-GC-MS suministra una herramienta adicional como lo es la dilucidación de un pico mediante los espectros de masas de las fracciones que eluyen del sistema. La diferencia entre los iones que emergen de cada fracción del cromatograma completo de iones se comparó contra la biblioteca de espectros de masas y se logró distinguir la presencia tanto de etanol como del isoflurano. Este método posee, por lo tanto, el potencial de discriminar a dos sustancias cuyos picos cromatográficos están superpuestos y que eluyen a un valor de resolución menor a 1. Se enfatiza así que la espectrometría de masas brinda información molecular de las sustancias analizadas, posicionando a esta técnica como una de mayor categoría por su poder de discriminación; por encima de la cromatográfica y la electroquímica (23), que se ha empleado para distinguir etanol de anestésicos en el ámbito hospitalario; técnicas que únicamente valoran una característica fisicoquímica de las sustancias analizadas (24).

## Consideraciones finales

Este método cualitativo de alcoholemia mediante headspace-cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas es preciso, selectivo, libre de arrastre cromatográfico y permite confirmar la presencia de etanol, inclusive con la interferencia de anestésicos, por lo que puede aplicarse a casos positivos de alcohol de sujetos o cadáveres que procedan de centros hospitalarios, a fin de corroborar la presencia del tóxico de forma científicamente indiscutible y legalmente defendible.

## Bibliografía

1. Martínez-Gonzalez MA. Criterios cualitativos en toxicología forense. *Rev. Esp. Med. Legal.* 2012; 38 (2): p. 68-75. DOI: 10.1016/j.reml.2012.03.004
2. Dorubeț D., Moldoveanu S., Mircea C., Butnaru E., Astărăstoae V. Development and validation of a quantitative determination method of blood ethanol by gas chromatography with headspace (GC-HS). *Rom. J. Leg. Med.* 2009; 4: p. 303-308. DOI: 10.4323/rjlm.2009.303
3. Ojanperä I., Rasanen I. Forensic screening by gas chromatography. En: Bogusz MJ (ed.) *Handbook of analytical separations.* Vol. 6. 2nd ed. Amsterdam. Elsevier B.V.; 2008. p. 403-424. DOI:10.1016/S1567-7192(06)06011-6
4. Tiscione NB, Alford I, Yeatman DT, Shan X. Ethanol analysis by headspace gas chromatography with simultaneous flame-ionization and mass spectrometry detection. *J. Anal. Toxicol.* 2011; 35: p. 501-511. DOI: 10.1093/anatox/35.7.501
5. Peris-Vicente J., Esteve-Romero J., Carda-Broch S. Validation of analytical methods based on chromatographic techniques: an overview. En: Anderson JL et al. (eds.) *Analytical Separation Science.* Weinheim. Wiley-VCH; 2015; p. 1757-1808. <https://doi.org/10.1002/9783527678129.assep064>
6. Monteiro C. Proença P. Tavares C. Castañera A., Corte-Real F. Interference of anesthetics in blood alcohol analysis by HS-GC-FID: A case report. *Forensic Sci. Int.* 2016; 265: p. 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.01.010>
7. Xie B., Yan WJ., Meng XY., Miao XG., Yu F., Dong M., Shi Y., Xiang P., Ma CL., Wen D. Influence of halogenated hydroxyl-alkanes inhalation anesthetic on the determination of ethanol content in blood. *J. Forensic Med.* 2020; 36(5): p.682-687. DOI: 10.12116/j.issn.1004-5619.2020.05.014.
8. Guerrero-López C.M., Muñoz-Hernandez J.A., Saenz B., Perez-Nuñez R., Reynales-Shigematsu L.M. Impacto del consumo nocivo de alcohol en accidentes y enfermedades crónicas en México. *Salud Pública de México.* 2013; 55(2): p.S282 S288. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342013000800027](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342013000800027)
9. Xiao H., Tong R., Yu J., Chen L., Zou J., Li J., Bian Y., Zhang Y. 2014. Rapid and Sensitive Headspace Gas Chromatography–Mass Spectrometry Method for the Analysis of Ethanol in the Whole Blood. *J. Clin. Lab. Anal.* 00: p.1-6. DOI: 10.1002/jcla.21698
10. Tiscione NB, Yeatman DT, Shan X, Kahl J.H. Identification of volatiles by headspace gas chromatography with simultaneous flame ionization and mass spectrometric detection. *J. Anal. Toxicol.* 2013; 37: p. 573-579. DOI: 10.1093/jat/bkt072
11. Levy R.J. Clinical effects and lethal and forensic aspects of propofol. *J. Forensic Sci.* 2011; 56(01): p. S142-S147. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2010.01583.x
12. Yamashita M., Matsuki A., Oyama T. Illicit use of modern volatile anaesthetics. *Can. Anaesth. Soc. J.* 1984; 31 (1): p. 76-79. DOI: 10.1007/BF03011485
13. SWGTOX. Scientific working group for forensic toxicology (SWGTOX) Standard practices for method validation in forensic toxicology. *J. Anal. Toxicol.* 2013; 37: p. 452-474. DOI: 10.1093/jat/bkt054
14. SS. Secretaría de Salud. Guía de práctica clínica de diagnóstico y tratamiento de la intoxicación aguda por alcohol etílico en el adulto en segundo y tercer nivel de atención. México. Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. 2013.
15. Archer HE., Chapman L., Rhoden E., Warren FL. The estimation of urethane (ethyl carbamate) in blood. *Biochem. J.* 1948; 42 (1): p. 58-59. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1258596/pdf/biochemj00950-0071.pdf>
16. Winek CL., Wahba WW., Winek Jr. CL., Balzer TW. Drug and chemical blood-level data. *Forensic Sci. Int.* 2001; 122 (2-3): p. 107-123. DOI: 10.1016/s0379-0738(01)00483-2
17. Guillon J., Desage M., Lepape A., Degoute CS., Manchon M., Brazier JL. Quantitation of Propofol in whole blood by gas chromatography-mass spectrometry. *J Chrom B.* 1995; 669: p. 358-365. DOI: 10.1016/0378-4347(95)00105-r
18. Pflieger K., Maurer H.H., Weber A. 1992. *Mass Spectral and GC Data.* 2th edition. Wiley VCH. New York.
19. Schmidt R., Wahl HG., Häberle H., Dieterich HJ., Schurig V. Headspace gas chromatography-mass spectrometry analysis of isoflurane enantiomers in blood samples after anesthesia with the racemic mixture. *Chirality.* 1999; 11: p. 206-211. DOI: 10.1002/(SICI)1520-636X(1999)11:3<206::AID-CHIR6>3.0.CO;2-R
20. Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos. Sección de laboratorio y asuntos científicos. Oficina de las Naciones Unidas contra la droga y el delito. Naciones Unidas. Nueva York, 2010.
21. SSC. Reglamento de Tránsito de la Ciudad de México. Secretaría de Seguridad Ciudadana. Gobierno de la Ciudad de México.
22. Hughes N.C., Wong E.Y.K., Fan J., Bajaj N. 2007. Determination of Carryover and Contamination for Mass Spectrometry–Based Chromatographic Assays. *The AAPS Journal.* 9(3): p. E353 E360. DOI: 10.1208/aapsj0903042
23. Morimoto Y., Koening H., Kramer G., Zornow M. Monitoring end-tidal ethanol concentrations during general anesthesia. *Anesthesiology.* 2000; 93: 898-901.
24. SWGDRUG. 2019. Scientific Working Group or the Analysis of Seized Drugs. Version 8.0, June-13.

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Optimización de métodos GC-MS para la detección de metanfetamina, cocaína y fentanilo empleando la estrategia Lean Six Sigma

María de Jesús Bejarano Uzeta<sup>1</sup>, Julio Eduardo Caudillo Rosales<sup>2</sup>, Fabiola Guadalupe Magdaleno Ruiz<sup>3</sup> ✉, Araceli Saldaña Lagunas.

<sup>1</sup> Responsable del Laboratorio de Química Forense de la PGJE de Baja California Sur.

<sup>2</sup> Asesor en Química Forense del Programa ICITAP México.

<sup>3</sup> Perito Químico de la PGJE de Baja California Sur.

✉ magr.fabiola@gmail.com

## Datos del artículo

Cita: Bejarano Uzeta María de Jesús, Caudillo Rosales Julio Eduardo, Magdaleno Ruiz Fabiola Guadalupe, Saldaña Lagunas Araceli. 2022. Optimización de métodos GC-MS para la detección de metanfetamina, cocaína y fentanilo empleando la estrategia Lean Six Sigma. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(2) 13-26 pp.

Editor: María Elena Bravo Gómez.

Recibido: 4 diciembre 2021.

Aceptado: 25 mayo 2022.

Publicado: 28 octubre 2022.

## Resumen

Durante el año 2020, el laboratorio de Química Forense de la Procuraduría General de Justicia del Estado de Baja California Sur con sede en la ciudad de La Paz, atendió solicitudes del ministerio público para analizar lo representativo a 164 mil 863 dosis de distintas drogas incautadas. El reto que enfrenta el laboratorio de Química Forense es responder a las solicitudes de manera pronta, por lo cual se hace necesario disponer de un método rápido y específico para la determinación de estas sustancias. En este sentido, se aplicó la metodología Lean Six Sigma con el objetivo de eliminar desperdicios en los procesos empleados para la identificación de metanfetamina, cocaína y fentanilo y así disminuir el tiempo de análisis. En el presente documento, se describen los métodos optimizados y validados para la determinación de estas sustancias mediante Cromatografía de gases acoplada a Espectrometría de masas (GC-MS), los cuales previo a la modificación tenían una duración de 15.5 minutos logrando una reducción en el tiempo de análisis de hasta casi el 70%.

**Palabras clave:** química instrumental, cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, lean six sigma, ciencias forenses, drogas incautadas.

## Abstract

During the year 2020, the Forensic Chemistry Laboratory of the Attorney General's Office of the State of Baja California Sur, based in the city of La Paz, attended requests from the Public Prosecutor's Office to analyze 164,863 doses of different drugs seized. The challenge faced by the Forensic Chemistry laboratory is to respond to the requests in a prompt manner, which makes it necessary to have a fast and specific method for the determination of these substances. In this sense, the Lean Six Sigma methodology was applied in order to eliminate waste in the processes used for the identification of methamphetamine, cocaine and fentanyl and thus reduce the analysis time. This document describes the optimized and validated methods for the determination of these substances by Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC-MS), which prior to the modification had a duration of 15.5 minutes, achieving a reduction in analysis time of almost 70%.

**Keywords:** instrumental chemistry, gas chromatography coupled to mass spectrometry, lean six sigma, forensic sciences, seized drugs.

## Introducción

La estrategia Lean Six Sigma es una combinación de herramientas desarrolladas tanto en Japón como en Estados Unidos de América que inicialmente fueron pensadas para eliminar los defectos, controlar y eficientar los procesos en el campo de la industria automotriz en la década de los ochenta; sin embargo, cada vez son más las industrias y organizaciones que han probado los beneficios de su implementación (1).

Las ciencias forenses no son la excepción y en años recientes instituciones de Estados Unidos de América e instituciones forenses en la República de Costa Rica han implementado con éxito estas estrategias, en ese contexto, en México esta es la primera vez que se implementan estas herramientas para la mejora de procesos forenses. Por ejemplo, la Policía del Estado de Louisiana en 2011 publicó sus avances de implementación de estrategia Lean Six Sigma para reducir la acumulación de casos y disminuir los tiempos de respuesta en los análisis de genética forense (2), por otro lado, el Departamento de Ciencias Forenses del Organismo de Investigación Judicial de Costa Rica implementó durante seis meses un proyecto de mejora en el área de balística donde como resultados se observaron mejoras a través de la reducción del número de casos pendientes con una acumulación de más de 3 meses en un 97% y el tiempo de respuesta de 4 meses a 1 mes (3).

Las herramientas Lean Six Sigma permiten a las organizaciones que las implementan disminuir e incluso eliminar problemas robustos al identificar aquellas actividades que limitan la productividad tal como la variación o “mura” en los procesos, así como los desperdicios o “mudas” que no agregan valor al servicio (4), dentro de estos problemas el más representativo en las agencias de investigación criminal es el reto de generar respuestas ágiles de análisis que ayuden a otorgar una justicia pronta; por lo tanto, la mejora en los procesos cromatográficos permitirá también hacer factible el análisis de muestras que contengan metanfetamina, cocaína y fentanilo en los tiempos que requieren los agentes de investigación, los Ministerios Públicos y los Jueces.

Un reto que presentan en la actualidad los laboratorios de química y toxicología forense en México, es la crisis de opioides, las autoridades de Estados Unidos de América han alertado a la comunidad forense sobre el fenómeno que experimentaron en años recientes ante una ola de intoxicaciones atribuida a sustancias opioides como el fentanilo, Según Valdez (5), una de las grandes ventajas de contar con métodos cromatográficos de gases acoplados a espectrometría de masas, radica en que los espectros de masas generados con un voltaje de impacto de 70 eV permite hacer comparaciones certeras con bases de datos o bibliotecas espectrales creadas usando las mismas condiciones de impacto electrónico, el inconveniente principal para los laboratorios mexicanos en implementar este tipo de métodos es el tiempo de análisis. Diversos métodos reportados en artículos como este y algunos otros publicados por la Oficina de



las Naciones Unidas (UNODC), tanto para la identificación de fentanilo (6), Cocaína (7) incluso algunas poco comunes en esta región de Baja California Sur como lo son las catinonas (8) los métodos superan los seis minutos de análisis por envoltorio, considerando los tiempos para los procesos jurídicos, cuando se presentan en el laboratorio incautaciones de varios cientos o miles de envoltorios cumplir con los términos es una misión compleja.

Por otro lado, los recursos tanto humanos como financieros son limitados y esto representa un reto en el tiempo de respuesta a cada vez más solicitudes de las agencias de investigación criminal, puesto que la cantidad de hechos delictivos en el país aumentan y estas labores deben realizarse con los mismos recursos o a veces menos (tomando en cuenta fenómenos como la inflación anual), es por ello que la estrategia Lean Six Sigma representa herramientas poderosas para lograr la eficiencia de los procesos (9), aún cuando Lean Six Sigma tuvo su origen en la industria de la transformación cada vez son más los ejemplos aplicados a los servicios (10).

El laboratorio de Química Forense y los demás adscritos a la Dirección de Servicios Periciales de la Procuraduría General de Justicia del Estado de Baja California Sur cuentan con sus procesos acreditados por la casa acreditadora ANAB (ANSI National Accreditation Board) bajo los estándares ISO/IEC 17025 y 17020 desde el año 2019. Esta acreditación además de demostrar la competencia del personal de estos laboratorios y darles confiabilidad a los resultados emitidos en sus dictámenes periciales, genera una cultura organizacional comprometida con la mejora continua de sus procesos.

Dentro de los grandes beneficios que otorga mantener un sistema de gestión de calidad están los registros que generan estadísticos descriptivos de los procesos que al ser estudiados con las herramientas Sigma en software comerciales como Excel (1) y con un enfoque Lean permite mejorarlos.

En ese contexto, durante el año 2020, el laboratorio de Química Forense del estado de Baja California Sur recibió solicitudes del Ministerio Público para el análisis de 164 mil 863 muestras de drogas incautadas, de esta cantidad solo se realizaron 24 análisis por la técnica de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS). Esta técnica permite la separación e identificación de mezclas complejas, es una técnica que durante su validación demostró ser específica y selectiva para los analitos de interés forense (11), cuyo único obstáculo para ser empleada con más frecuencia radica en los tiempos largos de análisis.

El objetivo del presente trabajo ha sido la optimización del método para la identificación de metanfetamina, cocaína y fentanilo por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas empleando la estrategia Lean Six Sigma, de tal manera que se obtenga como resultado la reducción del tiempo de análisis en los casos solicitados por los Agentes de investigación y los Ministerios Públicos donde las incautaciones involucran un número considerable de elementos a ensayar, en este sentido, aun cuando el laboratorio aplica estrategias de

muestreo para reducir costos y tiempos de respuesta en cada solicitud recibida, el implementar un método optimizado que se enfoque a detectar las sustancias más comunes que se reciben en el laboratorio, es de gran ayuda para disminuir aún más los tiempos de respuesta. De esta manera el laboratorio implementará sus métodos tradicionales con rampas que permitan hacer un screening de distintas familias de drogas (12) en los casos donde por las características físicas de las drogas se sospeche de algo diferente a metanfetamina, cocaína o fentanilo o bien cuando al emplear las rampas rápidas se obtengan resultados negativos, el laboratorio confirma este resultado empleando su método tradicional.

## Materiales y método

### *Preparación de la muestra*

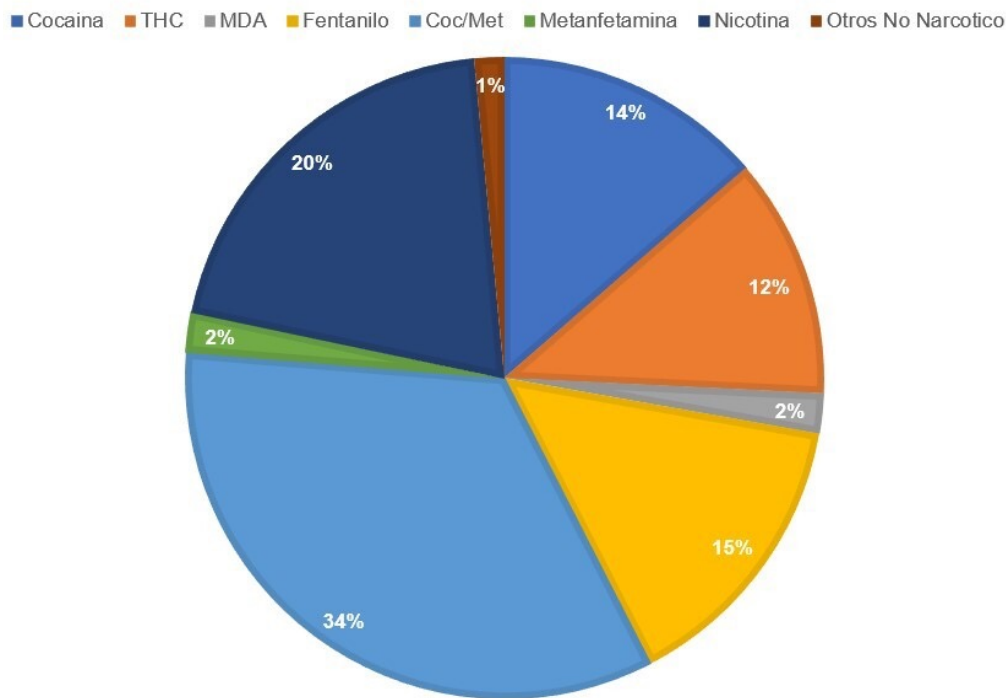
Con el equipo básico de operación de laboratorio para el manejo seguro se tomó 1 mg de la sustancia a analizar de (metanfetamina, cocaína y fentanilo) de la colección de referencia del laboratorio de química forense y se colocó en un tubo eppendorf de 1.5 mL de capacidad, se agregaron 500 microlitros de acetato de etilo y se mezcló en vórtex. Se centrifugó la solución por 5 minutos a 10,000 rpm antes de ser inyectada para separar los residuos sólidos no disueltos, posteriormente se tomaron 200 microlitros del sobrenadante y se colocaron dentro de un vial con inserto de cristal para reducción de volumen, se tapó e identificó. Posteriormente, se preparó el equipo Cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas marca Shimadzu con una columna SH-Rxi-5Sil MS 30 m x 0.25 mm x 0.25 um; gas acarreador: Helio. Se cargó el método optimizado con los siguientes parámetros: temperatura del inyector: 250° C y Split 100:1; Flujo de gas acarreador: 2mL/min; Programación de la temperatura del horno: 140° C por 3.2 minutos y gradiente 150° C/min hasta 300° C y mantener por 0.5 min; modo: impacto electrónico70eV.

### *Estrategia Lean Six Sigma*

La estrategia Lean Six Sigma se basa en la aplicación de un ciclo de mejora llamado DMAIC por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), en el cual fusionando diversas herramientas tanto estadísticas como de mapeo de procesos que son implementadas de una forma sistematizada se logra identificar desperdicios, variabilidad y sobrecargas en los procesos para luego disminuirlos, contenerlos o eliminarlos (10).

En la primera fase “DEFINIR” (*Define*) de este proyecto se realizó un análisis estadístico describiendo en primera instancia los ensayos por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas para la identificación de drogas incautadas que se efectuaron en el primer semestre del 2021 (ver Figura 1), donde se puede apreciar que, de 168 ensayos realizados las principales sustancias que se identifican con esta técnica son la cocaína/metanfetamina (34%), la cocaína (14 %) y el fentanilo (15%).





**Figura 1.** Sustancias identificadas durante el primer semestre de 2021 empleando la técnica GC-MS.

El enfoque de mejora en esta etapa del proceso se debe a que un análisis Pareto realizado muestra que el equipo de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas es el que consume mayor porcentaje de los gastos anuales en el laboratorio, además de que durante la etapa “MEDIR” (*Measure*) se realizó un mapa de flujo de valor que proporciona como información que el proceso completo de identificación presenta variación en un rango de 7 a 32.5 minutos por envoltorio y que la etapa de mayor consumo de tiempo es precisamente la etapa del ensayo por cromatografía de gases. Durante esta misma etapa se realizó un diseño de experimentos (DOE) para conocer cuál es el factor que más contribuye a la variación del proceso, los resultados (ver Figura 2 y Tabla 1) arrojaron que tanto el factor de procedimiento como el factor del tipo de muestra desde una óptica estadística tiene influencia sobre la variación del proceso, siendo el tipo de muestra el factor que más afecta a la variación del proceso.

Desde el punto de vista analítico esto es comprensible debido a que el esquema analítico con el que cuenta el laboratorio presenta la secuencia de pasos: ensayo de desarrollo de color, ensayo de espectroscopia infrarroja y que una limitante de esta técnica, es su pérdida de selectividad y/o especificidad ante muestras donde el analito de interés se encuentra en bajas concentraciones (11), en este caso las señales de vibración características necesarias para concluir la identificación no son visibles a menos de que se realicen extracciones para

eliminar las sustancias de cortes; sin embargo, esto no siempre es posible debido a que algunas sustancias de corte tienen características físico químicas afines que hacen compleja la identificación por lo que estas muestras deben ser analizadas mediante la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, lo que alarga el tiempo de análisis por envoltorio.

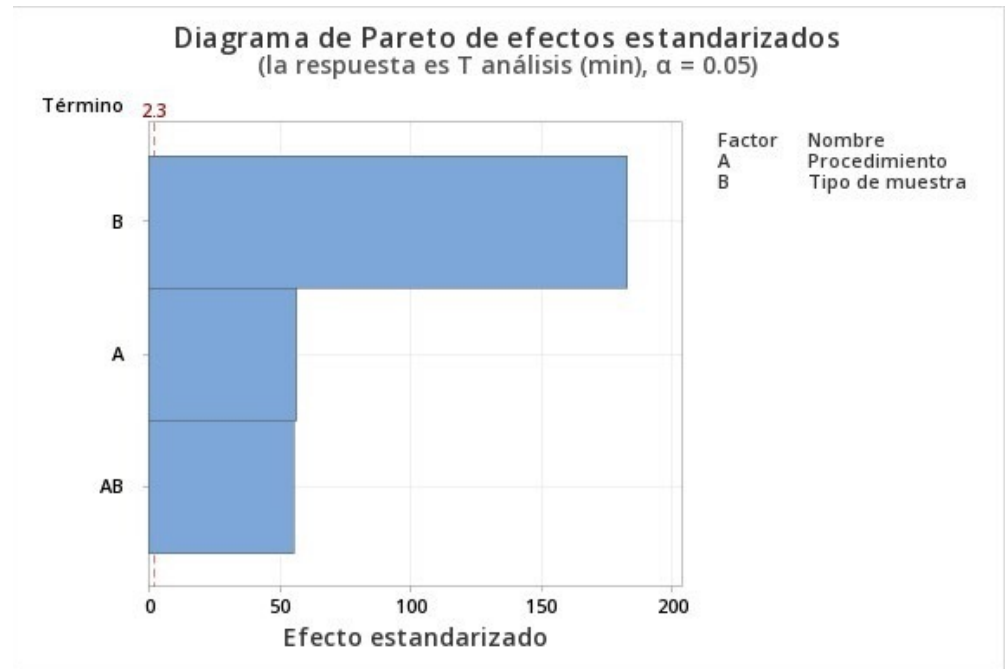


Figura 2. Resultados de un diseño de experimentos realizado con el software Minitab 19 para analizar los efectos de los factores sobre el proceso.

Como resultado de las etapas de definir y medir, se obtiene que la fase a ser analizada para encontrar la mejora es el análisis cromatográfico, debido a que este subproceso es el que tiene el mayor gasto de tiempo, también desde la perspectiva financiera es la técnica que involucra el mayor gasto y finalmente es la única técnica con la que cuenta en el laboratorio que no se ve afectada por el tipo de muestra que es el factor que genera mayor variabilidad en el proceso.

Durante la etapa “ANALIZAR” (*Analyze*) se implementó un evento Kaizen donde se estudiaron a detalle las características del método cromatográfico de PerkinElmer implementado por el laboratorio (12), las características físico-químicas de las drogas incautadas a identificar (metanfetamina, cocaína y fentanilo) y el comportamiento de la rampa de temperatura sobre los tiempos de retención obtenidos en el método con duración de 15.5 minutos que involucraba una rampa de cuarenta grados centígrados por minuto comenzando en cien grados centígrados y concluyendo a treientos grados centígrados manteniendo esta temperatura por diez minutos. Para el caso de la metanfetamina se identificaron desperdicios (MUDAS) de tiempo al inicio del método debido a que el punto de fusión de la metanfetamina es de ciento setenta grados centígrados y al final del método había otra MUDA más debido a que el tiempo

**Tabla 1.** Análisis de varianza del proceso de identificación de drogas considerando el procedimiento empleado y el tipo de muestra analizada.

Fuente	GL	SC ajust	Mc ajust	Valor F	Valor p
Modelo	3	1456.12	485.37	403.36	0.000
Lineal	2	1374.48	571.24	517.11	0.000
Procedimiento	1	81.64	86.94	72.25	0.000
Tipo de muestra	1	1287.54	1287.54	1069.98	0.000
Interacciones de 2 terminos	1	81.64	81.64	67.85	0.000
Procedimiento*tipo de muestra	1	81.64	81.64	67.85	0.000
Error	8	9.63	1.20		
Total	11	1465.75			

de retención de esta sustancia en el método original es de 3.1 minutos por lo que todo a partir de este tiempo fue considerado un desperdicio. Para el caso del fentanilo se observó que con el método programado eluye sobre el isoterma de trescientos grados centígrados por lo que fue considerada las MUDAS al inicio del método, en este mismo método también se observó la identificación de cocaína.

En la etapa “MEJORAR” (*Improve*) se realizaron los cambios a los métodos (ver Tabla 2) y se probaron empleando para ellos muestras de la colección de referencia obtenidas de casos reales caracterizadas por el método anterior el cual fue validado y demostró ser apto para el fin previsto, una vez realizadas las pruebas se validaron las nuevas rampas para lo que fueron evaluadas las características de desempeño del método (Límite de Detección, Selectividad/Especificidad, Repetibilidad y Reproducibilidad en términos de precisión intermedia) (11) y ambas rampas demostraron ser aptas para el fin previsto es decir, los iones característicos fueron detectados de acuerdo a lo publicado en la literatura (13), además de no presentar arrastre lo cual fue evaluado inyectando blancos después de cada inyección del mix de sustancias (Metanfetamina, Cocaína, Fentanilo). Finalmente en la etapa “CONTROLAR” (*Control*) se implementaron gráficos de control usando para ellos los tiempos de retención obtenidos en la parte experimental de la evaluación del parámetro de repetibilidad y reproducibilidad en términos de precisión intermedia para estimar los límites de control y, empleando inyecciones de controles positivos de cada una de las sustancias identificadas se busca realizar el monitoreo del aseguramiento de la calidad de los resultados en el sentido de identificar tendencias y/o cambios en el comportamiento del método cromatográfico.

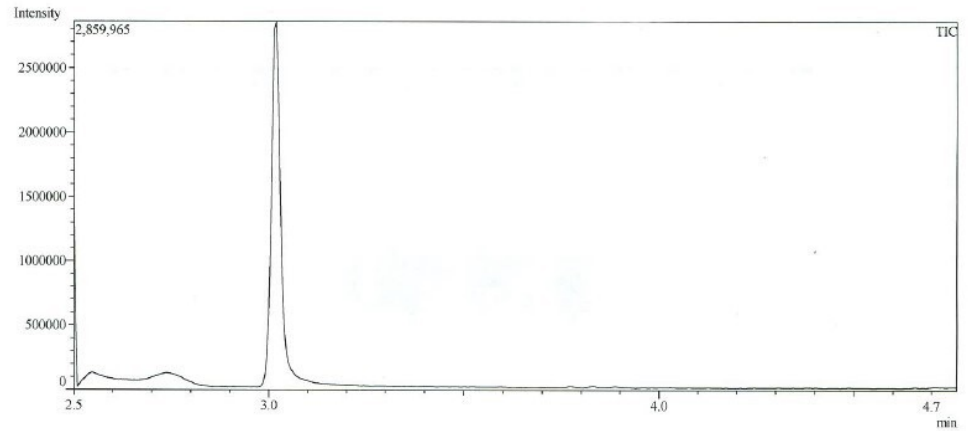
## Resultados

Una vez concluida la implementación de la estrategia Lean Six Sigma se logró una disminución de tiempo de análisis del 69.23%, lo que permitió realizar adecuaciones al esquema analítico vigente para prescindir de las técnicas de desarrollo de color y espectroscopia infrarroja para muestras donde se busca identificar fentanilo, cocaína y metanfetamina, con lo cual se eliminó la variación en el proceso. Como parte de la verificación de la implementación se realizó un nuevo diseño de experimentos evaluando los factores de tipo de muestra y el factor del personal, en este diseño de experimento no se contempló el procedimiento debido a que con el cambio del proceso siempre se usa el mismo método y equipo (ver Figura 8, Tabla 3). La interpretación de los datos estadísticos muestra que los factores que se evaluaron no influyen sobre los tiempos medidos, por lo tanto, la variación (Mura) mostrada en el mapa de flujo de valor inicial fue eliminada con la mejora.

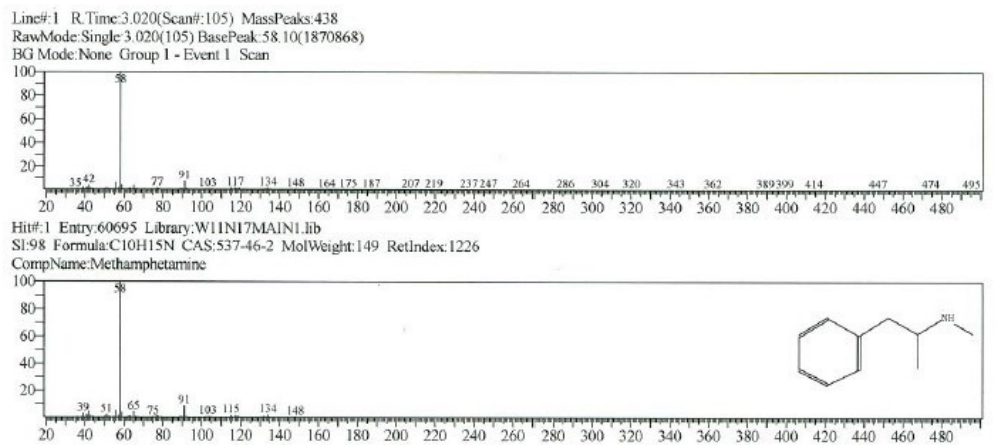
**Tabla 2.** Cambios realizados al método original para la identificación de metanfetamina, cocaína y fentanilo.

Comparación de métodos cromatográficos empleados para la identificación de metanfetamina, cocaína y fentanilo			
	Método antes de optimizar (12)	Método Optimizado para metanfetamina	Método Optimizado para fentanilo y cocaína
<b>Cromatógrafo de Gases</b>			
Inyector	Temperatura 250 o C Split 50:1	Temperatura 250 o C Split 100:1	Temperatura 250 o C Split 100:1
Columna	SH-Rxi-5Sil MS 30 m X 0.25 mm x 0.25 um		
Gas Acarreador	Helio		
Flujo de gas acarreador	2 ml/min		
Horno	100° C por 0.5 min y gradiente de 40° C/ min hasta 300° C y mantener por 10 min	140° C por 3.2 minutos y gradiente 150° C/min hasta 300° C y mantener por 0.5 min	Isoterma de 300° C por 4.77 min
<b>Espectrometría de masas</b>			
Modo	Impacto electrónico (Voltaje de impacto 70 eV).		
Modo de Lectura e intervalo másico	Scan 35 a 500 Da		
Tiempo de retención de metanfetamina	3.1 min	3.01 min	no se identifica
Tiempo de retención de fentanilo	9.16 min	no se identifica	4.54 min
Tiempo de retención de cocaína	6.72 min	no se identifica	2.61 min
Tiempo total de método	15.5 min	1465.75	4.77 min

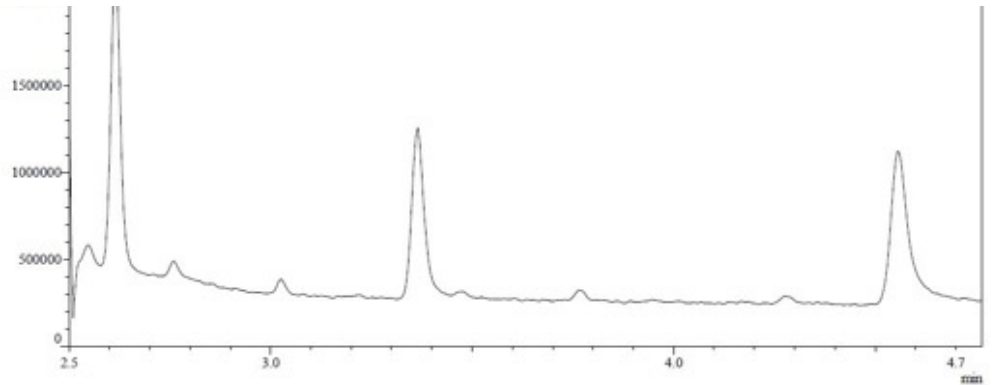
**Figura 3.** Cromatograma de identificación de la metanfetamina (tiempo de retención 3.01)



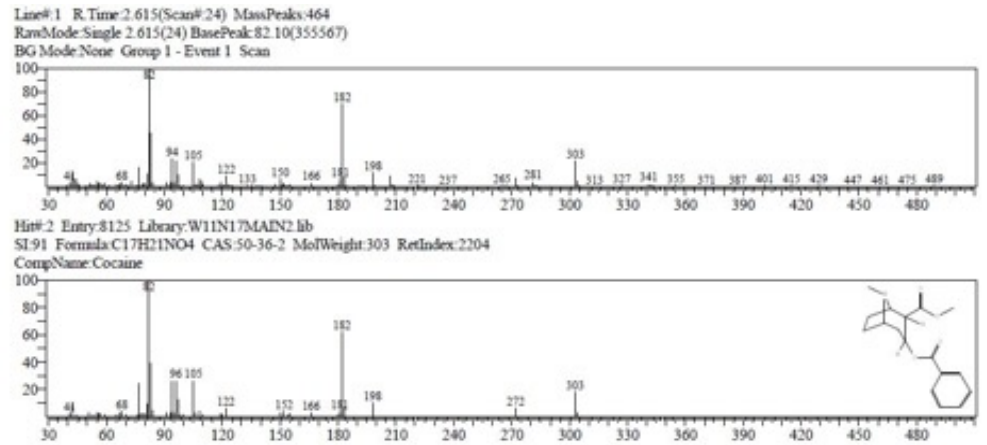
**Figura 4.** Espectro de masas donde se identifican los iones característicos de la metanfetamina (tiempo de retención 3.01 min).



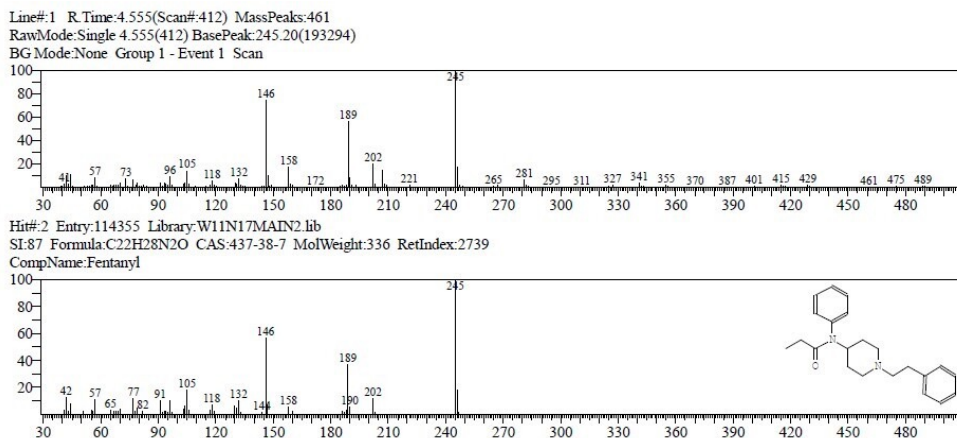
**Figura 5.** Cromatograma de identificación de fentanilo (tiempo de retención 4.5 min) y cocaína (tiempo de retención 2.6 min).



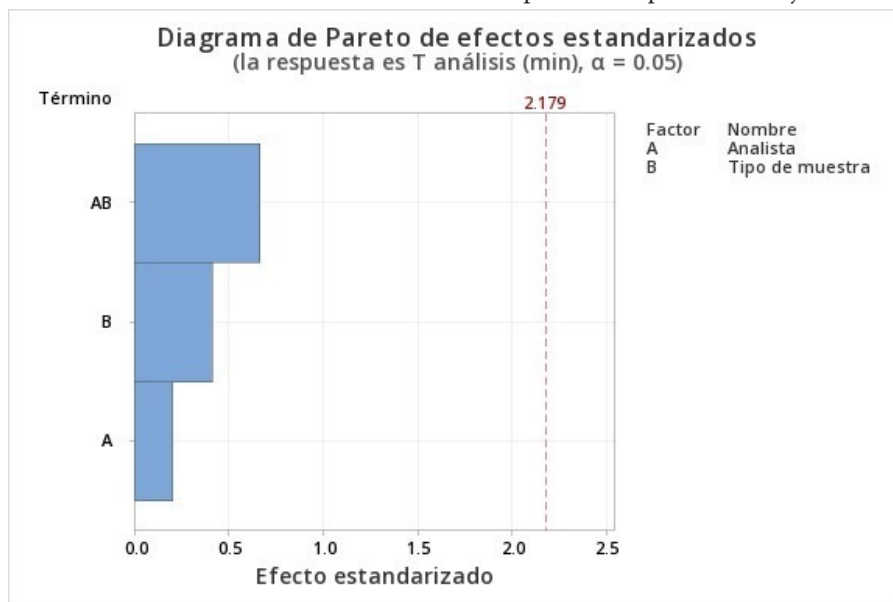
**Figura 6.** Espectro de fragmentación de masas para de identificación de cocaína.



**Figura 7.** Espectro de fragmentación de masas para de identificación de fentanilo.



**Figura 8.** Resultados de un diseño de experimentos realizado con el software Minitab 19 para analizar los efectos de los factores sobre el proceso después de la mejora.



**Tabla 3.** Análisis de varianza del proceso de identificación de drogas considerando el analista y el tipo de muestra analizada con el proceso optimizado.

Fuente	GL	SC ajust	Mc ajust	Valor F	Valor p
Modelo	3	1456.12	485.37	403.36	0.000
Lineal	2	1374.48	571.24	517.11	0.000
Analista	1	81.64	86.94	72.25	0.000
Tipo de muestra	1	1287.54	1287.54	1069.98	0.000
Interacciones de 2 términos	1	81.64	81.64	67.85	0.000
Analista*tipo de muestra	1	81.64	81.64	67.85	0.000
Error	8	9.63	1.20		
Total	11	1465.75			

## Discusión

La estrategia Lean Six Sigma representa una oportunidad para que las organizaciones gubernamentales de enfoque forense, logren un mejor aprovechamiento de los recursos con los que cuentan para lograr los objetivos que tienen definidos, en este proyecto no solo quedó demostrado que la implementación de esta estrategia logró ahorros de tiempo en el análisis de drogas incautadas sino que también generó otros ahorros por ejemplo el de personal que realiza análisis de drogas, esto debido, a que el proceso de identificación por la técnica de GC-MS genera registros de la actividad que no necesitan un segundo analista que atestigüe que la transferencia de resultados a las hojas de trabajo se realice de forma correcta, tal como sucede en las pruebas de desarrollo de color.

Este proyecto de mejora demuestra que la implementación de sistemas de gestión de la calidad en las organizaciones, en este caso la ISO/IEC 17025, no solo tiene una función de lograr acreditaciones de carácter nobiliario, que generen confiabilidad en los resultados emitidos, sino que además de generar este impacto y confianza en el usuario final que es la sociedad misma, también son la base de la mejora continua que lleve a las organizaciones de un estado de eficacia a un estado de eficiencia en la obtención de resultados y en el manejo de sus recursos para lograr estos.

Tal como expresaría Imai Massaki en su obra, el Laboratorio de Química Forense de Baja California Sur busca a partir de los cimientos construidos en su estándar ISO y en los cimientos del kaisen construir una organización donde se aprende y donde participa tanto la dirección como los peritos (14).

Al ser este el primer proyecto Lean Six Sigma en el área de las ciencias forenses en México no solo permite a la Procuraduría General de Justicia del Estado de Baja California Sur estar a la vanguardia con respecto a lo implementado en otros países tanto de habla inglesa como de habla hispana; sino que, además abre la puerta para que otras áreas de la misma organización y otras organizaciones más a nivel nacional se sumen a esta transformación de una cultura organizacional donde la mejora continua es parte del día a día.

## Consideraciones finales

La transformación (cambio) es una actividad difícil, profunda, que ejerce un efecto decisivo en el individuo y la organización. Se requieren valor y fortaleza de carácter para intervenir en el cambio. Los altos directivos deben tener un verdadero anhelo y mucha disciplina personal para transformar su empresa; por su parte, los empleados también necesitan disciplina personal para aplicar los métodos de práctica óptima desarrollados en los proyectos de Lean Six Sigma. (15).



La implementación de Lean Six Sigma en este proyecto permitió disminuir el tiempo de análisis en la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas un 69.23 %, también se logró eliminar la variación del proceso que inicialmente representaba un intervalo de variación de 7 a 32.5 minutos por envoltorio a un tiempo aproximado de 4.77 minutos con variaciones menores al 1%. Se eliminó la necesidad de contar con al menos dos analistas por turno para la identificación de drogas incautadas y la necesidad de usar los equipos de espectroscopia infrarroja para este fin por lo que representa en el futuro un posible ahorro de mantenimiento de estos equipos y un mejor aprovechamiento de los recursos destinados para el proceso de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los directivos de la Procuraduría General de Justicia del Estado de Baja California Sur la cual encabeza el Sr. Procurador Lic. Daniel de la Rosa Anaya, a los directivos de la dirección de servicios Periciales encabezada por el Lic. José Miguel Almaguer Valencia y en especial a los directivos del programa ICITAP México encabezados por el Sr. Kyle H. Grimes, Mtro. Miguel Oscar Aguilar Ruiz y el Dr. Carlos Campos Alvarado por las facilidades prestadas y su apoyo incondicional para la realización de este proyecto.

## Bibliografía

1. Pérez M. Metodología SEIS SIGMA a través de excel. Primera ed. México: Alfaomega; 2010.
2. Richard M, Kupferschmid TD. Increasing Efficiency of Forensic DNA Casework Using Lean Six Sigma Tools. U. S. DEPARTMENT OF JUSTICE OFFICE JUSTICE PROGRAMS. 2011.
3. Rojas Alfaro C, Bagnarello Madrigal G, Chacón Hernández M. Improving forensic processes performance: A Lean Six Sigma approach. Elsevier. 2020 Febrero; 2(90 - 94).
4. Socconini L. Lean Manufacturing: Paso a paso. Kindle ed. México: AlphaOmega; 2017.
5. Valdez CA. Gas Chromatography-Mass Spectrometry Analysis of Synthetic Opioids Belonging to the Fentanyl Class: A Review. Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2021 Mayo.
6. Crean C, y colaboradores. Recommended methods for the Identification and Analysis of Fentanyl and its Analogues in Biological Specimens NATIONS U, editor. Viena: United Nations; 2017.
7. UNODC. Métodos recomendados para la identificación y el análisis de cocaína en materiales incautados. 2012. MANUAL PARA EL USO DE LOS LABORATORIOS NACIONALES DE ANÁLISIS DE ESTUPEFACIENTES.
8. UNODC. Métodos recomendados para la identificación y el análisis de las catinonas sintéticas en los materiales incautados. 2016. MANUAL PARA USO DE LOS LABORATORIOS NACIONALES DE ANÁLISIS DE DROGAS.
9. Gutiérrez Pulido H, De la Vara Salazar R. Control estadístico de calidad y Seis sigma. Segunda ed. México: McGraw-Hill; 2009.
10. Furterer SL. LEAN SIX SIGMA EN EL SERVICIO: Aplicaciones y estudios de caso. Primera ed. México: Trillas; 2015.
11. UNODC. Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos. 2010. MANUAL PARA USO DE LOS LABORATORIOS NACIONALES DE ANÁLISIS DE ESTUPEFACIENTES.
12. Ruppel TD. Perkin Elmer. [Online].; 2011 [cited 2021]. Available from: [chrome-extension://efaidnbmninnbpcjpcglclefindmkaj/https://resources.perkinelmer.com/corporate/cmsresources/images/44-132028app\\_drugsofabusegcms.pdf](chrome-extension://efaidnbmninnbpcjpcglclefindmkaj/https://resources.perkinelmer.com/corporate/cmsresources/images/44-132028app_drugsofabusegcms.pdf).
13. Moffat AC, Osselton DM, Widdop B, Watts J. Clarke's Analysis of Drugs and Poisons. Cuarta ed. mai M. GEMBA KAIZEN: UN ENFOQUE DE SENTIDO COMÚN PARA UNA ESTRATEGIA DE MEJORA CONTINUA. Segunda ed. Madrid: Mc Graw Hill / Interamericana de España, S.L.; 2015.
14. Gitlow HS. Guía de las habilidades administrativas Lean Six Sigma. Primera ed. México: Trillas; 2014

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Enseñanza de la ciencia forense durante la pandemia de covid-19

Luis Jiro Suzuri Hernández<sup>1</sup>✉, Ana María Sosa Reyes<sup>1</sup><sup>1</sup>Unidad de Docencia, Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México.

✉ jiro.suzuri@cienciaforense.facmed.unam.mx

## Datos del artículo

Cita: Suzuri Hernández Luis Jiro, Sosa Reyes Ana María. 2022. Enseñanza de la ciencia forense durante la pandemia de covid-19. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(2): 27-65 pp.

Editor: Jorge Luis López Zepeda.

Recibido: 26 enero 2022.

Aceptado: 18 agosto 2022.

Publicado: 28 octubre 2022.

Financiamiento: Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, a través del proyecto PAPIME PE301421.

## Resumen

La pandemia de covid-19 ha representado, sin excepción, un reto enorme para los sistemas educativos de todo el mundo. El desarrollo de habilidades a través del trabajo en el laboratorio, parte integral de la enseñanza de las ciencias, en especial en el nivel superior, se ha visto gravemente afectado por el prolongado cierre de los campus. Para un área del conocimiento interdisciplinaria como la ciencia forense, continuar en modalidad híbrida o a distancia con la formación de científicos y científicas forenses, así como de especialistas en alguna de las muchas disciplinas forenses, ha implicado poner en práctica todo un abanico de soluciones pedagógicas y tecnológicas, desde lugares de investigación creados con realidad virtual inmersiva hasta la creación de kits que permitan llevar a cabo en casa actividades otrora confinadas al laboratorio, pasando por laboratorios virtuales. Aunque la población estudiantil ha respondido en su mayoría de manera entusiasta, declarándose satisfecha con la calidad de la enseñanza recibida, se desconocen cuáles serán las consecuencias de la crisis sanitaria y educativa en la adquisición de habilidades científicas clave. Además de indagar en esta problemática, resulta necesario explorar medidas orientadas a corregir las posibles deficiencias, así como consolidar las innovaciones, digitales o no, obligadas por la pandemia. La presente revisión de la literatura se centra en describir las estrategias y métodos que han permitido a la enseñanza de las ciencias forenses adaptarse a condiciones sin precedentes, con el ánimo de invitar a la reflexión sobre el quehacer docente y fomentar el intercambio colegiado de ideas.

**Palabras clave:** ciencia forense, covid-19, enseñanza práctica, enseñanza a distancia, habilidades de laboratorio.

## Abstract

Covid-19 has severely challenged education systems all over the world. An important part of a well-rounded scientific training, particularly in higher education, the development of laboratory skills has been critically disrupted by the prolonged closure of campus facilities. In order to shift from face-to-face to hybrid or distance learning and keep on training forensic scientists, as well as forensic specialists, an interdisciplinary field of study such as forensic science has had to enact a diverse range of pedagogical and technological solutions, from virtual reality crime scenes and virtual labs to customized kits that enable students to carry out at home activities previously restricted to laboratory instruction. Although students' responses to the quality of online teaching have been mostly positive, declaring themselves highly satisfied with it, the extent of its effect on key laboratory skills remains to be seen. Together with studying this issue, educational researchers would do well to explore targeted approaches to strengthen any undeveloped skill and firm up worthwhile innovations—digital or otherwise—adopted in response to the current health crisis. This review of the published literature on forensic science education during the pandemic gives an account of strategies and methods that have enabled it to adapt to unprecedented circumstances, with the aim of fostering both a reappraisal of teaching practices and the cross-pollination of ideas.

**Keywords:** forensic science, covid-19, practical teaching, distance learning, laboratory skills.

## Introducción

A más de dos años del inicio de la pandemia de covid-19, podemos asegurar sin temor a exagerar que la educación superior en todo el mundo ha sufrido una sacudida sin precedentes en su historia, desde que surgieran las primeras universidades en la Europa del siglo XII hasta la masificación del acceso a la universidad de mediados del XX (para una revisión histórica, véase 1,2). Un sondeo realizado en abril de 2020 por la Asociación Internacional de Universidades (IAU, por sus siglas en inglés) reveló que, de 424 universidades que respondieron a su encuesta, distribuidas en 109 países, el 99 por ciento experimentó algún tipo de alteración en sus programas, de mayor o menor severidad: del cierre total de instalaciones y la suspensión de actividades en los campus a la implementación de medidas sanitarias para continuar con relativa normalidad la enseñanza en las aulas. En dos tercios de las instituciones que respondieron, las clases presenciales se sustituyeron por enseñanza a distancia, principalmente en línea. Esta transición súbita e inesperada de una modalidad de instrucción a otra supuso tres tipos de retos, a saber, (a) técnico, dadas las dificultades para brindarle acceso a toda la población estudiantil y a la planta docente a la infraestructura necesaria (conexión a internet y equipo de cómputo, cuando menos) para participar en la enseñanza en línea; (b) pedagógico, debido a la capacitación docente y al trabajo de preparación necesarios para transitar de un modelo de enseñanza presencial a uno a distancia, y (c) disciplinar, porque diferentes asignaturas requieren de espacios y equipos difíciles o imposibles de reemplazar, como son laboratorios y talleres (3). Un estudio posterior de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), realizado entre 2020 y 2021, descubrió que, de 53 países miembros, en 47 los modelos a distancia e híbridos se volvieron los más comunes, no obstante percibirse, en 52 países, la acuciante necesidad de apoyos técnicos y pedagógicos para ajustarse a la nueva realidad educativa (4). Lo que hace excepcional a este trance es, pues, la magnitud del trastorno causado por la emergencia sanitaria (aproximadamente 220 millones de estudiantes de nivel superior afectados por el cierre de universidades, 5) y la amplia, aunque inequitativa, disponibilidad de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) que, como nunca antes, han permitido que la formación profesional continúe fuera de las aulas.

Irónicamente, el cierre parcial o total de las universidades, con la obstaculización de las labores de investigación que supone (4), no se ha reflejado en la cantidad de publicaciones científicas sobre el covid-19: por el contrario, se ha registrado un aumento considerable en el número de artículos, tanto revisados por pares como preprints, desde los primeros meses del 2020 (6,7). Aunque no se han encontrado estudios que señalen un aumento comparable en la publicación de investigaciones educativas, la comunidad académica dedicada a la educación ciertamente ha aprovechado la pandemia para reflexionar tanto sobre problemáticas inmediatas, tales como sus efectos negativos en la enseñanza

y el aprendizaje (8), como a largo plazo, por ejemplo, sobre la sustentabilidad de los sistemas educativos (9). Aunque todavía es un área marginal dentro de la investigación educativa en el área de las ciencias, la didáctica de la ciencia forense ha ido cobrando auge en años recientes (véanse, por ejemplo 10,11,12), sobre todo con la creación de *The Journal of Forensic Science Education* en 2019, razón por la cual resulta de interés averiguar cómo esta área ha enfrentado los retos técnicos, pedagógicos y disciplinares identificados por la IAU. El quehacer forense, por su naturaleza interdisciplinaria, eminentemente práctica y aplicada a la resolución de problemas jurídicos constituye un caso de estudio interesante para docentes e investigadores educativos, en particular bajo las condiciones de contingencia sanitaria, porque puede arrojar luz sobre cuestiones como la creación o adopción de estrategias o métodos para la instrucción a distancia de muy diversas disciplinas (ciencias naturales y sociales, humanidades) y, en especial, alternativas al desarrollo de destrezas tradicionalmente abordadas en laboratorios. Asimismo, podría ayudar a vislumbrar nuevas oportunidades para acercar al estudiantado al trabajo cotidiano de peritos y peritas en los servicios forenses, y de los y las operadoras jurídicas en tribunales, en un momento en el que las visitas, rotaciones y estancias de trabajo no son viables.

Inevitablemente, por la pandemia, actividades centrales en la formación de los y las futuras profesionales forenses han tenido que suspenderse, reprogramarse o, tema de esta revisión, trasladarse al mundo digital: clases en las aulas, prácticas en laboratorios, demostraciones en vivo, charlas con expertos, visitas a servicios forenses, rotaciones y pasantías, congresos y simposios, proyectos de investigación y más han tenido que reinventarse con ayuda de las actuales TIC (13,14,15,16). A nivel personal e institucional, la innovación didáctica se convirtió en una necesidad impostergable (17). En su revisión de la situación en el Reino Unido e India, Thompson et al. (16) expresaron nítidamente el dilema al que se enfrenta la enseñanza de la ciencia forense: el desarrollo de habilidades requiere que los y las estudiantes apliquen las mejores prácticas, soliciten que se evalúe su desempeño y entiendan el contexto en el que se usan las técnicas al usarlas. Las sesiones prácticas desarrollan habilidades psicomotoras necesarias en muchos aspectos del análisis forense: habilidades básicas de laboratorio como pesar, pipetear, preparar especímenes para microscopía, tomar hisopados para ADN y recuperar impresiones dactilares son necesarias para resolver muchos problemas de la ciencia forense. Y, con frecuencia, los equipos e instrumentos deben quedarse en el laboratorio por cuestiones sanitarias y de seguridad, porque es imposible desplazarlos, por su costo o por restricciones en las licencias de uso, lo que implica que el laboratorio no puede llevarse a la casa del estudiante.

Aunque son innegables los beneficios potenciales de una educación práctica orientada a objetivos de aprendizaje que no pueden conseguirse fuera del laboratorio, enriquecida por la interacción entre pares, con acceso a equipo y materiales especializados y receptiva a la retroalimentación oportuna de un o una experta, el desarrollo de destrezas manuales habría de acompañarse del

desarrollo de habilidades cognitivas (por ejemplo, creatividad metodológica, pensamiento crítico y resolución de problemas) congruentes con el papel que se anticipa que podría desempeñar un o una profesional forense (18), con el replanteamiento de la ciencia forense que propone la Declaración de Sidney (19) y con perfiles profesionales como el concebido para el licenciado en ciencia forense por la Universidad Nacional Autónoma de México (20). Como se verá en lo que resta de este texto, existe una enorme diversidad de métodos y herramientas que apuntan en esta dirección.

Esta investigación documental se centra, pues, en averiguar cómo enfrentó la enseñanza de la ciencia forense, o de las disciplinas forenses que la integran<sup>1</sup>, los retos técnicos, pedagógicos y disciplinares derivados de la pandemia de covid-19. No obstante, conviene aclarar que, si bien es útil para enmarcar la problemática que nos ocupa, esta distinción tripartita no es tan nítida. Es evidente que cada disciplina forense enfrenta retos técnicos y pedagógicos particulares: no se necesita el mismo equipo, materiales o instalaciones para enseñar antropología forense que delitos cibernéticos, ni la química y el derecho comparten una misma didáctica. Pero también es cierto que una cuestión disciplinar (por ejemplo, enseñar a controlar variables en un experimento o a argumentar en un juicio oral) conlleva ciertas decisiones pedagógicas (adoptar una enseñanza enfocada en la práctica o en la teoría, o en ambas) de las que se desprenden aún otras (distribuir el trabajo en equipos pequeños, asignarlo a todo el grupo o individualmente) y que, a su vez, tienen consecuencias técnicas (en lo que se refiere a la disponibilidad de equipos, materiales y reactivos, por un lado, y espacios para escenificar una sala de juicio, por el otro).

Esperamos que esta revisión de una serie de casos, publicados tanto en revistas revisadas por pares como en medios de más amplia difusión, ofrezca información útil para guiar el diseño de cursos durante y después de superada la pandemia de covid-19; que sirva de oportunidad para comparar y contrastar la práctica propia con la de colegas de otros países y disciplinas, y, quizás más importante aún, invite a compartir innovaciones y hallazgos con la comunidad. La polinización cruzada de ideas y la colaboración interdisciplinaria pueden contribuir en mucho a la mejora continua de la enseñanza forense aún, o especialmente, en circunstancias adversas.

## Material y Método

Para encontrar publicaciones que dieran cuenta de cómo se ha adaptado la enseñanza de la ciencia forense a las condiciones actuales, se realizó una investigación documental utilizando el motor de búsqueda especializado de Google Académico y la base de datos dedicada a la investigación educativa ERIC (*Education Resources Information Center*), utilizando la locución “*forensic science*” más las palabras “*education*”, “*training*” o “*teaching*”, y añadiendo al final “*Covid*” o “*pandemic*”. La búsqueda se realizó entre el 7 y el 14 de julio de



2021, aunque durante la escritura de este texto todavía se agregaron algunas referencias aparecidas después de dicho periodo. Asimismo, se realizaron revisiones directas en los índices de marzo a septiembre de 2021 de las revistas académicas con mayor impacto en el área forense, es decir, las ubicadas en los dos cuartiles superiores según el portal de acceso público *SCImago Journal & Country Rank* (<https://www.scimagojr.com>): *Forensic Science International* (Q1), *Science & Justice* (Q1), *Forensic Science Review* (Q1), *Forensic Sciences Research* (Q1), *Forensic Science International: Synergy* (Q1), *Journal of Forensic Sciences* (Q2), *Forensic Science, Medicine, and Pathology* (Q2) y *Egyptian Journal of Forensic Sciences* (Q2), además del recién creado *The Journal of Forensic Science Education*. Para ampliar el alcance de la búsqueda, se revisaron las listas de referencias bibliográficas de cada texto encontrado para identificar más publicaciones pertinentes al tema de esta revisión.

A partir de los resultados arrojados por estas búsquedas, se seleccionaron aquellos reportes de investigación, comunicaciones cortas, revisiones de la literatura, cartas al editor, comentarios editoriales y propuestas didácticas que trataran alguna problemática o innovación relativa a la enseñanza de la ciencia forense, o de alguna disciplina forense en particular, tras declarada la pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS). No se privilegiaron trabajos que evaluaran los efectos en el aprendizaje de las intervenciones educativas, dado que uno de los propósitos de esta primera inmersión en la literatura es ofrecer un panorama lo más amplio posible de estrategias o métodos para mejorar la docencia forense, tanto durante la contingencia sanitaria como después de superada. Para ampliar el horizonte de búsqueda, y pensando que existirían propuestas didácticas aún no publicadas en la literatura académica, se realizó una exploración a través del motor de búsqueda de Google (empleando los términos ya mencionados) en pos de artículos periodísticos y de divulgación, comunicados de prensa o entradas de blog en las que se describieran innovaciones implementadas en respuesta al cierre de las universidades y otras instituciones educativas. En la tabla 1 se muestra un resumen de los tipos de fuentes producto de esta búsqueda. Todas pertenecen al nivel superior, con excepción de un par pertenecientes al bachillerato que se incluyeron por su aplicabilidad a la educación universitaria.

**Tabla 1.** Referencias sobre intervenciones educativas en el ámbito forense emprendidas en respuesta a la pandemia de covid-19, clasificadas de acuerdo con el tipo de fuente bibliográfica considerada como criterio de inclusión (n = 36 referencias en total).

Fuentes académicas						Fuentes periodísticas	
Comunicación corta	Reporte de investigación	Revisión de literatura	Carta al editor	Comentario al editor	Propuesta didáctica	Nota periodística	Comunicado de prensa
1	13	2	1	4	7	2	6

Todas las referencias seleccionadas se leyeron en su totalidad, tomando nota de los retos técnicos, pedagógicos y disciplinarios. Además del tipo de fuente bibliográfica, los textos encontrados se clasificaron de acuerdo con el país donde se llevó a cabo la intervención educativa, las disciplinas forenses involucradas en la intervención, la estrategia o método didáctico y la herramienta tecnológica empleada. En la tabla 2 se identifican los países donde se llevaron a cabo las diferentes intervenciones.

**Tabla 2.** Países donde se llevaron a cabo las intervenciones educativas en respuesta a la pandemia reportadas en la literatura<sup>a</sup>.

EEUU	Reino Unido	India	Australia	Italia	Singapur	Hungría	Noruega	Malasia	N/A <sup>b</sup>
16	5	3	2	2	1	1	1	1	5

<sup>a</sup> La suma de las referencias es de 37 porque en una se compara la situación en dos países, Reino Unido e India.

<sup>b</sup> N/A se asignó a referencias que no hacen mención específica a un país y/o tienen una perspectiva internacional.

Por último, en la tabla 3, se enlistan las disciplinas forenses de cuya enseñanza tratan las propuestas, así como la cantidad de menciones para cada una. Tanto en esta como en la tabla 4 se ha procurado respetar lo más posible, a pesar de la traducción, los nombres de las disciplinas usados por los propios autores o autoras de los trabajos o propuestas referidas. En muchas de las ocasiones en que emplean el término “ciencia forense” se refieren a lo que en nuestro país se conoce tradicionalmente como criminalística o a disciplinas periciales que competen al ámbito de esta. La agrupación de las disciplinas es meramente convencional: muchas de las ubicadas bajo el rubro de “disciplinas criminalísticas”, por ejemplo, derivan parte de sus fundamentos teórico-prácticos de disciplinas médicas, antropológicas o químico-biológicas.

## Resultados y discusión

Para organizar la presentación de los resultados, se abordarán por separado los retos técnicos, pedagógicos y disciplinarios que ha enfrentado la enseñanza de las ciencias forenses a raíz de la pandemia de covid-19. Para los primeros dos, se buscaron identificar aquellos retos que enfrentan en general las disciplinas forenses, para entonces enfocar el tratamiento de los retos disciplinarios en áreas particulares. Como ya se mencionó, estos tres tipos de retos están entrelazados, se influyen mutuamente y no es posible separarlos por completo. Por esta razón, existe un cierto grado de repetición en la información expuesta sobre cada reto que, no obstante, se procuró mantener al mínimo. Después del tratamiento de cada uno de los retos, se dedica un último apartado, titulado “Lecciones aprendidas”, a presentar los resultados de las evaluaciones practicadas a las



**Tabla 3.** Ciencias forenses en las que se enfocan las referencias encontradas, así como su número de menciones y frecuencia (entre paréntesis).

	Número de menciones*	Total del grupo	
Disciplinas criminalísticas	Procesamiento de la escena (CSI)	7 (12.5 %)	
	Dactiloscopia	2 (3.6 %)	
	Análisis de marcas de calzado	2	
	Balística	2	
	Fuego y explosivos	1 (1.8 %)	
	Análisis de cabello	1	
	Análisis de huellas de neumáticos	1	21 (37.5%)
	Análisis de patrones de manchas de sangre	1	
	Impresiones	1	
	Análisis de fibras	1	
	Análisis de vidrio	1	
Análisis de pinturas	1		
Disciplinas médicas/antropológicas	Ciencia biomédica	1 (1.8 %)	
	Psiquiatría forense	1	
	Investigación de muertes	1	
	Medicina forense	1	
	Patología forense	1	
	Antropología forense	1	10 (17.9%)
	Tafonomía forense	1	
	Lesiones mecánicas	1	
	Antropometría	1	
Odontología forense	1		
Disciplinas químico-biológicas	Serología	3 (5.4%)	
	Química analítica y análisis instrumental	2 (3.6 %)	
	Biología forense	2	
	Análisis farmacéutico	1 (1.8 %)	
	Microbiología	1	
	Biología del cáncer	1	
	Farmacología y biotecnología	1	16 (28.6%)
	Microscopía para biología forense	1	
	Biología molecular para biología forense	1	
	Bioquímica molecular forense	1	
	Análisis de fluidos corporales	1	
Genética forense	1		
Ciencia forense	Ciencia forense	1 (1.8 %)	
	Teoría y política de la ciencia forense	1	
	Laboratorios forenses	1	4 (7.2%)
	Derecho en la ciencia forense	1	

Otras	Delitos cibernéticos	3 (5.4%)
	Criminología	1 (1.8 %)
	Física/interpretación de patrones	1 (1.8 %)
Total		56 (100 %)

<sup>a</sup> El total de referencias en esta tabla y el de la Tabla 1 no se corresponden porque existen referencias que tratan de más de una disciplina forense.

estrategias o métodos puestos en práctica. En la Tabla 4 se resume el contenido de las publicaciones; para cada referencia se señala la disciplina en la que se enmarca la intervención y la estrategia o método didáctico implementado, así como las herramientas tecnológicas a las que se recurrió. (Las menciones de nombres de productos o servicios no han de interpretarse como una recomendación: se incluyen solo con fines informativos).

### Retos técnicos

Tanto para docentes como para estudiantes, uno de los principales retos técnicos de la transición abrupta y forzada a la enseñanza en línea radicó en sus respectivos niveles de alfabetización tecnológica, así como en el acceso y la calidad de la conexión a internet (21). Si bien el uso de las TIC está ampliamente diseminado entre la población, existen reportes en la literatura de estudiantes que desconocían muchas de las herramientas de e-learning adoptadas en respuesta a la pandemia, acostumbrados como estaban a métodos tradicionales de enseñanza presencial como las exposiciones del profesorado y el trabajo práctico en laboratorios (22), o de estudiantes inseguros que requerían confirmar constantemente si estaban haciendo buen uso de las herramientas tecnológicas (23). A lo anterior se suma el contar con equipo de cómputo de uso personal con acceso a internet, un reto de mayor envergadura para quienes viven en naciones con bajos niveles de desarrollo socioeconómico. Existen reportes sobre las condiciones prevalentes entre el estudiantado que favorecen o entorpecen su tránsito a la enseñanza en línea en el ámbito forense (por ejemplo, 24). Un pequeño estudio diagnóstico en una universidad italiana arrojó que de 17 estudiantes que contestaron una encuesta, 13 contaban con equipo de cómputo (PC o tableta) para su uso exclusivo, mientras que cuatro tenían que compartirlo con otras personas; solo 12 estudiantes contaban con conexión a internet fija o móvil con gigabytes ilimitados (22). A manera de comparación, en México una proporción importante de estudiantes de la Licenciatura en Ciencia Forense (LCF) de la Facultad de Medicina de la UNAM reportaron carencia de internet de banda ancha o interrupciones en el servicio, así como equipos de cómputo con desperfectos y la necesidad de compartirlo con parientes cercanos (25), obstáculos que no fueron mencionados ni por estudiantes de Corea del Sur ni de EEUU (26,27,28).

De manera generalizada, la planta docente respondió al reto de administrar sus cursos en modalidad a distancia y en línea adoptando algún

**Tabla 4.** Referencias sobre intervenciones educativas en el ámbito forense emprendidas en respuesta a la pandemia de covid-19.

Disciplina forense	Estrategia/método didáctico	Herramienta tecnológica <sup>a</sup>	Referencia
Ciencia forense (criminalística) + Procesamiento del lugar de investigación + Serología + Dactiloscopia + Fuego y explosivos + Análisis de cabello + Análisis de marcas de calzado + Balística	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de gestión del aprendizaje</li> <li>▪ Lecturas (incluidas instrucciones de actividades)</li> <li>▪ Quizzes pre-laboratorio</li> <li>▪ Laboratorio en línea interactivo</li> <li>▪ Hojas de trabajo en el laboratorio</li> <li>▪ Formularios para el reporte de laboratorio</li> <li>▪ Kits comerciales para casa (customizados)</li> <li>▪ Exámenes finales en línea (supervisados)</li> <li>▪ Foros de discusión</li> <li>▪ Rúbricas para discusión</li> <li>▪ Demostraciones interactivas (para fuego y explosivos)</li> <li>▪ Imágenes 3D (para marcas de calzado y balística)</li> <li>▪ Tours virtuales</li> </ul>	Documentos de Google Google Tour Creator Canvas	Londino-Smolar y Hansen (2021)
Análisis forense digital (criminalística)	Laboratorio en línea interactivo	Twitch Cámara GoPro	Chmiel (2020)
Análisis forense digital (criminalística)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Laboratorio en línea (realidad virtual inmersiva)</li> <li>▪ Grabaciones de clases</li> </ul>	ENGAGE PowerPoint YouTube	Hassenfeldt, Jacques y Baggili (2020)
Análisis forense digital	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kits para casa (para construcción de drones)</li> <li>▪ Tutoriales en video</li> </ul>	Dron con software de control Dispositivo remoto Webcam Laptop (con conexión a internet)	Miller (2020)
Ciencia forense (criminalística)	Laboratorio presencial (con medidas de sana distancia)	Instalaciones <i>state-of-the-art</i>	Curry College (2020)
Criminología	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entrevistas grabadas con expertos</li> <li>▪ Incorporar temas de delincuencia y covid-19</li> </ul>	No mencionada	Universidad de Newcastle (2020)
Ciencia forense (teoría y política)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de gestión del aprendizaje</li> <li>▪ Aula invertida</li> <li>▪ Trabajo colaborativo multidisciplinario</li> <li>▪ Simulaciones de juicios</li> <li>▪ Elaboración de videos</li> </ul>	Canvas PlayPosit Hypothesis	Intrabartola (2020)
Criminalística (evidencia forense en patrones) + Dactiloscopia + Análisis de huellas de calzado + Análisis de huellas de neumáticos + Balística + Análisis de patrones de machas de sangre	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mini-escenas (tamaño de clóset)</li> <li>▪ Protocolos de operación para trabajo individual</li> </ul>	No mencionada	Intrabartola (2020)
Criminalística	Realidad virtual inmersiva	Uptale Cámara Ricoh Theta S 36° Lentes de realidad virtual Celular	Kader et al. (2020)
Criminalística (dactiloscopia)	Kits para casa	Brochas	Maynard (2021)

Ciencias bioanalíticas + Química analítica + Análisis farmacéutico + Microbiología + Biología del cáncer + Ciencia biomédica + Farmacología y biotecnología	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simulaciones</li> <li>▪ Reportes electrónicos</li> <li>▪ Sesiones de trabajo en equipo</li> <li>▪ Tutoriales</li> </ul>	Learning Science Microsoft OneNote Zoom	Bassindale, LeSuer y Smith (2021)
Psiquiatría forense	Telepsiquiatría	No mencionada	Derflinger, Niedermier y Misquitta (2021)
Análisis instrumental (como preparación para estudios sobre indicios, <i>trace evidence</i> , y toxicología)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de gestión del aprendizaje</li> <li>▪ Discusiones en grupos pequeños c/ hojas de trabajo</li> <li>▪ Grabaciones de clases</li> <li>▪ Ilustraciones filmadas</li> <li>▪ Quizzes (p. ej., opción múltiple, respuesta corta)</li> <li>▪ Diario de autorreflexión</li> <li>▪ Presentaciones elaboradas por estudiantes</li> <li>▪ Exámenes finales</li> </ul>	Documentos de Google Google Drive Blackboard PowerPoint Cámara para digitalizar documentos	Tran y Lamar (2020)
Microscopía para biología forense	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Clases a distancia</li> <li>▪ Presentaciones grabadas</li> <li>▪ Tutoriales para el trabajo en el laboratorio</li> </ul>	Microsoft Teams	Brunelli y Macirella (2021)
Introducción a la ciencia forense + Procesamiento del lugar de investigación + Laboratorios forenses + Ley en la ciencia forense + Impresiones + Investigación de muertes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo híbrido (75% asincrónico)</li> <li>▪ Sistema de gestión del aprendizaje</li> <li>▪ Revisión de material y preguntas en sesión sincrónica</li> <li>▪ Lecturas, presentaciones, quizzes y discusión en sesión asincrónica</li> <li>▪ Exposiciones por expertos (en vivo y grabadas)</li> <li>▪ Exámenes en línea (supervisados)</li> <li>▪ Pase de asistencia</li> <li>▪ Foros de discusión</li> </ul>	Canvas Zoom Software de supervisión automática de exámenes Top Hat Documentos de Google	Londino-Smolar (2020)
Patología forense	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fotogrametría</li> <li>▪ Clases a distancia</li> </ul>	Cámara Canon EOS 600D (18mpxl) Lentes EF-S 18-55 mm Cámara de smartphone Samsung Galaxy S7 Edge Autodesk ReCap Photo Microsoft Teams 3D Viewer o Emb3D	Tóth et al. (2020)
Procesamiento del lugar de investigación Serología Biología forense Aplicaciones de biología molecular para biología forense	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Escenas del crimen do-it-yourself</li> <li>▪ Interrogatorio en juicio simulado</li> <li>▪ Laboratorios virtuales</li> <li>▪ Acceso remoto para troubleshooting</li> <li>▪ Demostraciones interactivas de programas</li> <li>▪ Sesiones de clase, sincrónicas y asincrónicas</li> <li>▪ Espacio para colaboración en línea</li> <li>▪ Presencia simultánea del instructor en dos aulas</li> <li>▪ Exámenes en línea</li> </ul>	Cámaras de smartphones Equipo y material casero PowerPoint Zoom (función de control remoto) Software de Applied Biosystems TrueAllele Computadoras de escritorio conectada a internet Blackboard Respondus Lockdown Browser con webcam	Connon, Greenspoon y Simmons (2020)
Ciencias biomédicas y biotecnología médica	Taller CSI virtual para aprender a crear escenas	Smartdraw PowerPoint Microsoft Teams ImmerseYou360	Lim et al. (2021)

Bioquímica molecular forense Serología forense	Aula invertida	No mencionada	Elkins y Zeller (2021)
Análisis de fluidos corporales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de gestión del aprendizaje</li> <li>▪ Videos de trabajo en el laboratorio</li> <li>▪ Presentaciones interactivas</li> <li>▪ Series de datos</li> <li>▪ Simulaciones de laboratorio</li> <li>▪ Análisis de un caso simulado</li> <li>▪ Lecturas de libros de texto</li> <li>▪ Sesiones de clase sincrónicas</li> </ul>	PowerPoint Labster Zoom Blackboard	Elkins y Zeller (2021)
Ciencia forense (criminalística) + Análisis de fibras + Análisis de vidrio + Análisis de pinturas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sesiones asincrónicas con material casero</li> <li>▪ Trabajo colaborativo sincrónico</li> </ul>	Microsoft Teams	Tidy y Parker (2021)
Ciencia forense (en India) + Medicina forense + Antropología forense + Tafonomía forense + Lesiones mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sesiones sincrónicas de clase</li> <li>▪ Evaluación en línea</li> <li>▪ Fotografías de características patológicas (identificadas en autopsias)</li> <li>▪ Videos de procedimientos</li> <li>▪ Lectura de artículos periodísticos</li> <li>▪ Suscripciones a módulos de e-learning, e-books, revistas</li> <li>▪ Radiografías (para estimación de edad)</li> <li>▪ Videos</li> <li>▪ Sitios de internet</li> </ul>	Zoom Webex WhatsApp Google Forms	Thompson et al. (2020)
Ciencia forense (en Reino Unido) + Criminalística + Tafonomía	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sesiones sincrónicas de clase</li> <li>▪ Sistema de gestión del aprendizaje</li> <li>▪ Videos sobre técnicas forenses</li> <li>▪ Seminarios con tutores</li> <li>▪ Trabajo independiente</li> <li>▪ Discusiones grupales</li> <li>▪ Lectura de testimonios</li> <li>▪ Interrogatorio/contrainterrogatorio</li> <li>▪ Hojas de trabajo</li> <li>▪ Repositorios de modelos 3D</li> </ul>	Microsoft Teams Webex Zoom Blackboard Collaborate Padlet Sketchfab	Thompson et al. (2020)
Ciencia forense (en bachillerato) + Antropometría	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sesiones sincrónicas</li> <li>▪ Sistema de gestión del aprendizaje</li> <li>▪ Análisis de casos criminales</li> <li>▪ Demostraciones de laboratorio</li> <li>▪ Fotomicrografías de evidencia</li> <li>▪ Laboratorio remoto</li> <li>▪ Pláticas con expertos</li> <li>▪ Laboratorios en casa con kits</li> </ul>	Google Meet PowerPoint Google Classroom	Kochis (2020)
Criminalística (CSI)	Escenas de realidad virtual	Visores Oculus Quest 128 Gb Unity v. 2019.2.15f1 Oculus y Android Studio	Mayne y Green (2020)
Genética forense	Simulación de caso	Excel	Baranski et al. (2020)
Odontología forense	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simulación de caso</li> <li>▪ Sistema de gestión del aprendizaje</li> <li>▪ Sesiones plenarias de discusión</li> <li>▪ Quizzes</li> <li>▪ Exposiciones</li> <li>▪ Trabajo en equipo</li> <li>▪ Asesorías personalizadas</li> </ul>	Primescan 3Shape TRIOS 4 Adobe Media Encoder Exocad Webview ImageJ Adobe Acrobat DC EpofixResin/Epofix Hardener Sierra Struers Cámara reflex de una lente GeoGebra Math Apps Canvas	Knivsberg et al. (2021)

Medicina y patología forenses	▪ Videoconferencia	Microsoft Teams	Jones (2021)
	▪ Sesiones de discusión sincrónicas y asincrónicas	Zoom	
	▪ Videos de presentaciones	PowerPoint	
	▪ Modelos anatómicos en 3D interactivos	Plataforma de videografía (screencasts)	
	▪ Aprendizaje autogestionado	Xerte	
	▪ Lista de actividades diarias	Wakelet	
	▪ Grupo de estudio virtual	Mentimeter	
	▪ Atención a dudas	Sitio de kialo-edu	
	▪ Videos sobre buenas prácticas	E-mail	
	▪ Colecciones de textos y fotografías	YouTube	
Análisis de marcas de calzado	Diseño, construcción y puesta a prueba de instrumentos pequeños, móviles y de bajo costo	Levantador electrostático de huellas de calzado	Chohan et al. (2020)
		Hojas de Mylar metalizado	
		Batería alcalina de 9 V	
		Multiplificador Cockcroft-Walton	

<sup>a</sup> En la información suplementaria que acompaña a este artículo se ofrece, para comodidad del lector o lectora, una lista en orden alfabético con una breve descripción de las características y funciones de los programas y plataformas enlistados, según sus desarrolladores.

sistema de gestión del aprendizaje (LMS, por sus siglas en inglés) de acceso libre o a través de licencias adquiridas por su institución educativa, como Google Classroom, Blackboard o Canvas. Estos sistemas se acompañaron, prácticamente en todos los casos, con plataformas de videoconferencia como Zoom, Google Meet o Microsoft Teams, gracias a las cuales se consiguió mantener el contacto entre docentes y estudiantes e, incluso, impartir clases completas en un formato muy cercano al tradicional, es decir, centradas en la exposición docente. Además de la inversión adicional en capacitación que implica adiestrar en el uso de estas herramientas (22), otro reto técnico muy oneroso para la planta docente ha sido el tiempo invertido en la búsqueda de material videográfico en sitios de internet como YouTube que ilustre el contenido a exponer y, en caso de no encontrarlo, prepararlo desde cero (29).

En varios de los reportes encontrados se exploró el uso de la realidad virtual (RV) como un medio para enseñar el procesamiento de lugares de investigación (las comúnmente llamadas “escenas del crimen” en el ámbito anglosajón), tratando de encontrar alternativas al equipo caro y especializado que suele requerirse para estas experiencias inmersivas, y con miras a capacitar a los propios estudiantes y docentes sobre su elaboración y uso. Por ejemplo, Lim et al. (30) organizaron talleres donde enseñaron a estudiantes de ciencias biomédicas y biotecnología médica a diseñar escenas del crimen virtuales empleando herramientas como Smartdraw, ImmerseYou360 y Microsoft PowerPoint.

Estos retos técnicos son consistentes con dos de las cuatro etapas, esto es, acceso a equipos de cómputo e internet y adquisición de habilidades digitales, que la teoría de los recursos y la apropiación (21,31) ha identificado como obstáculos potenciales a la adopción de las TIC y que explican, en parte, la brecha digital entre diferentes personas. Sobre las dos etapas restantes, la motivación para

usar las TIC y los beneficios obtenidos por su uso, la necesidad de continuar con las clases a pesar del cierre de planteles limitó la capacidad de decisión del profesorado, obligándolo a adoptar herramientas que, cabe especular, no tenía contemplado utilizar. Investigar las motivaciones y reacciones del personal docente ante las remodelaciones practicadas a sus cursos podría contribuir a saber cómo alentarlos para que consoliden sus hallazgos afortunados, superen o corrijan las deficiencias, y continúen innovando aún después de restablecida la enseñanza presencial. Sobre los beneficios derivados de adoptar una u otra TIC, en el apartado dedicado a las lecciones aprendidas se pasa revista a los resultados preliminares de las evaluaciones practicadas a las distintas intervenciones educativas.

### *Retos pedagógicos*

La transición al modelo de enseñanza a distancia requirió de una considerable inversión de tiempo y esfuerzo por parte del personal docente. Por ejemplo, Kimberlee Moran (profesora y directora del área forense en la Universidad de Rutgers-Camden) invirtió, según su testimonio, unas 150 horas durante el periodo intersemestral para replantear su curso de teoría y política aplicada a la ciencia forense, tras participar en un taller de una semana sobre diseño instruccional y tecnología. Como parte del rediseño de su curso, Moran adoptó la modalidad de aula invertida (32), solicitando al estudiantado que revisara el material de clase en casa, en forma de videos breves, para poder dedicar las sesiones semanales, vía videoconferencia, a discutirlo (29). Invertir el aula fue una medida que también implementaron otras docentes para aprovechar más y mejor las sesiones sincrónicas (23). Para algunos docentes, la transición a la modalidad en línea requirió enriquecer el material didáctico con el que ya contaban, por ejemplo, incorporando nuevas diapositivas a las presentaciones (casi un 18 por ciento adicional, según una de las fuentes consultadas, así como doce videos nuevos). Esto trajo aparejado, naturalmente, un aumento en la duración de las clases, en sí otro desafío pedagógico a superar (22).

Los diferentes sistemas de gestión del aprendizaje ofrecen una variedad de funciones pensadas para mejorar la calidad didáctica de la instrucción, a saber, a) organizándola en módulos y dando acceso al contenido del curso (presentaciones, apuntes, lecturas, tareas, quizzes, fotografías, videos, foros de discusión, etcétera) de manera centralizada, calendarizada, clara y consistente (23,15,33,34); b) incorporando mayor interactividad y mecanismos de rendición de cuentas, por ejemplo, obligando al estudiante a detenerse periódicamente a responder preguntas o hacer comentarios para involucrarse más con el material presentado (29); c) permitiendo la comunicación con el o la docente para solicitar información con la cual realizar las actividades (35); d) aplicando exámenes vigilados por sistemas anti-copia o anti-fraude (35); e) distribuyendo aleatoriamente al estudiantado en equipos, a fin de fomentar la creación de comunidad (33); f) publicando, en formato de texto, video o audio, recordatorios



de entregas o avisos sobre temas próximos (33), y g) vinculando recursos de internet externos al curso, por ejemplo, videos de YouTube, o incorporando apps o herramientas de otras plataformas como Documentos de Google (33,29,34).

Las plataformas de videoconferencia resultaron elementos clave en la transición. Permitieron conservar actividades como las exposiciones docentes, la interacción entre pares, la retroalimentación en tiempo real, las evaluaciones orales y las clases impartidas por expertos invitados (33). Además, dieron pie a la innovación y al aprovechamiento de nuevas oportunidades, como fue el caso de la ya citada Moran, quien organizó ejercicios de simulación de juicios reuniendo a estudiantes de derecho y de ciencias forenses, brindando a los primeros más conocimiento sobre evidencia forense; a los segundos, la experiencia de enfrentar un interrogatorio, y, a ambos, una formación interdisciplinaria (29). Por otra parte, para un curso de técnicas de microscopía para biología forense, las docentes responsables optaron por recurrir a la plataforma Microsoft Teams, a través de la cual proyectaron las diapositivas de sus presentaciones y tutoriales pre-grabados para las sesiones de laboratorio (22).

Si bien las videoconferencias resultan un medio ideal para propiciar la discusión en la modalidad a distancia, resultaron inadecuadas para estudiantes que no estaban en condiciones de asistir a sesiones sincrónicas, que no se sentían cómodos compartiendo sus ideas verbalmente o que necesitaban de más tiempo para articular sus respuestas. Por estas razones, hubo docentes que experimentaron durante la pandemia con herramientas que permitieran una discusión asincrónica, como Documentos de Google. En un curso de análisis instrumental de una licenciatura en ciencia forense, la plantilla docente dividió al grupo en equipos y abrió una carpeta en Google Drive para cada uno, en donde se almacenaron cuestionarios que había que completar a lo largo del curso. Contestar las preguntas requería que, por videoconferencia o a través de comentarios escritos, los y las integrantes discutieran cuál consideraban que era la información pertinente que debían recuperar de los libros de texto; que llegaran a una respuesta consensuada, o que eligieran más de una de entre un abanico de respuestas posibles. Usar Documentos de Google permitió monitorear las contribuciones de cada integrante e hizo que el equipo se esforzara por capturar y sintetizar sus discusiones en textos sucintos. Un descubrimiento interesante de los autores fue que el estudiantado suele intentar encontrar respuestas en los libros de texto antes de evaluar críticamente qué tipo de respuesta se solicita (34).

En algunas universidades anglosajonas es práctica común impartir clases en auditorios que dan cabida a cientos de estudiantes. Ese fue el caso de un curso introductorio a la ciencia forense que, antes de la pandemia, se impartía de manera presencial a 420 estudiantes y que migró a la modalidad híbrida. Como parte de la reorganización del curso, una de las dos clases semanales de 75 minutos se dedicó a revisar sincrónicamente el contenido y a atender dudas por videoconferencia, mientras que la segunda se reservó para que, de manera asincrónica, el estudiantado terminara lecturas, viera presentaciones,



contestara quizzes, realizara diversas actividades prácticas y participara en foros de discusión. Invitados e invitadas expertas en áreas como antropología forense, entomología forense, patología, dactiloscopia, identificación de armas de fuego y documentos cuestionados impartieron sus clases por videoconferencia, con la ventaja de que las grabaciones de las charlas quedaban a disposición de quien quisiera volver a verlas o no hubiera podido asistir a clase (33).

Con la finalidad de despertar el interés del estudiantado, flexibilizar la cobertura del material de clase y guiarlo en el uso de recursos digitales, los y las docentes implementaron varios métodos muy puntuales que pueden resultar útiles para otros. Se enlistan, a manera de recomendaciones, en la tabla 5. La naturaleza de estos métodos nos lleva a concluir que, aunque resulte obvio apuntarlo, diseñar e impartir cualquier asignatura en modalidad híbrida o a distancia debería de tomar en cuenta buenas prácticas de enseñanza fundamentadas en las áreas de teoría del aprendizaje, ciencia cognitiva y diseño instruccional (para más información, véase, por ejemplo, 36).

### *Retos disciplinares*

Una muy oportuna revisión del estado de la investigación sobre el uso del laboratorio con fines educativos en la ciencia forense identificó cuáles son algunos de sus posibles beneficios formativos: por un lado, acerca a los y las estudiantes al quehacer profesional, por ejemplo, en lo que toca al tratamiento digno de restos humanos, preparándolos para enfrentar situaciones sensibles o traumáticas y manejar información confidencial; por el otro, les permite familiarizarse con equipos costosos que requieren de instalaciones especializadas para su operación. No obstante, existen muchas áreas forenses sobre las que aún no existen investigaciones sobre la eficacia de la enseñanza en laboratorios, como es el caso de química forense, biología forense, interpretación de patrones, investigación de escenas del crimen o de muertes sospechosas y medios digitales (37). A pesar de esta falta de información, mucho del trabajo forense depende de, y se realiza en, laboratorios, por lo que no tener acceso a ellos representa un obstáculo para la enseñanza de muchas disciplinas forenses.

A grandes rasgos, entre las soluciones puestas en práctica para compensar la inaccesibilidad a los laboratorios y otros espacios destinados al trabajo práctico se encontraron reportes sobre las siguientes: a) diseño y procesamiento de lugares de investigación criminalística a través de RV inmersiva; b) creación y uso de laboratorios virtuales; c) proyección de videos demostrativos de diferentes procedimientos analíticos; d) recorridos virtuales de servicios forenses; e) escenificación de lugares de investigación en casa; f) producción y análisis de material gráfico interactivo en 2D o 3D; g) compilación de bases de datos para comparar perfiles genéticos; h) adiestramiento a distancia en la aplicación de programas de cómputo; i) videoconferencias con expertos; j) prácticas profesionales a distancia; k) diseño, construcción y uso de equipos portátiles de bajo costo; l) compra o preparación de kits para trabajo en casa,

**Tabla 5.** Recomendaciones didácticas para facilitar el aprendizaje en la modalidad de enseñanza a distancia o híbrida, en respuesta a la pandemia de covid-19.

Recomendación didáctica	Referencia
1. Proporcionar una lista de actividades diarias sugeridas, que incluya actividades de aprendizaje autodirigido, discusiones en grupo y preguntas para guiar el análisis de un caso.	Jones (2021)
2. Diseñar las plataformas y secuenciar las actividades de manera que el alumnado pueda aprender a usar la tecnología y el contenido del curso, p. ej., dirigiéndolo al syllabus e incluyendo tutoriales sobre cómo participar.	
3. Monitorear constantemente el progreso del estudiantado, p. ej., a través de quizzes, hojas de trabajo, foros de discusión o exámenes de práctica, brindando retroalimentación rápida y oportuna.	
4. Ser transparente en el aprendizaje y la enseñanza para todas las tareas, actividades y discusiones, comunicando al estudiantado por qué se llevan a cabo, en qué consisten y cuáles son los criterios con los que se evaluará su desempeño.	Londino-Smolár (2021)
5. Al final de cada semana proporcionar a los y las estudiantes un breve resumen de lo que han, o deberían haber, conseguido, así como un adelanto de lo que realizarán la próxima semana, enfatizando la conexión entre ambas.	
6. Estructurar el trabajo en laboratorios virtuales siguiendo el esquema hacer-explorar-actuar, que consiste en comenzar con actividades que implican copiar acciones o seguir instrucciones, para continuar con unas que fomenten la comprensión a través de una manipulación más libre, y terminar con actividades abiertas que involucren tareas cognitivas más sofisticadas como diseñar un procedimiento.	
7. Enfatizar el estudio previo al laboratorio, para asegurar que el estudiantado llegue preparado a las sesiones de los laboratorios virtuales y aproveche al máximo la experiencia.	
8. No subestimar el tiempo que puede llegar a necesitar un o una estudiante para cumplir con las actividades programadas: lo que a un(a) docente le toma un par de horas puede representar un día entero de trabajo para un(a) estudiante.	
9. Dado que entre el estudiantado hay quienes están acostumbrados a sistemas virtuales cerrados, en los que solo se aceptan respuestas correctas y no existe la posibilidad de intentar y equivocarse, conviene incorporar mecanismos de retroalimentación acompañados de la oportunidad de intentar responder por segunda vez, así como explicar que no hay penalización por equivocarse la primera vez.	Bassindale et al. (2021)
10. Indicar claramente qué se espera del o de la estudiante en cada momento, por ejemplo, señalando la fase del esquema hacer-explorar-actuar que aplique a una actividad o módulo determinado.	
11. Dedicar por lo menos una sesión a explorar las características de los laboratorios virtuales, antes de solicitar al estudiantado realizar actividades que puedan influir en su calificación.	
12. Monitorear el aprendizaje planteando las siguientes preguntas periódicamente: ¿Qué quedó más claro, fue más útil o resultó más significativo del módulo? ¿Qué conceptos o ideas del módulo no quedaron claras? ¿Hay algún comentario, idea o pregunta sobre el módulo que quisieran compartir?	
13. Mantener una estructura consistente para la presentación del módulo, el material expositivo (p. ej., presentaciones, tutoriales, lecturas, etc.), las tareas y los exámenes (con quizzes de preparación, instrucciones y recomendaciones).	
14. Usar sistemas de respuesta que registren la asistencia del estudiantado y lo involucren más en la clase, planteándole preguntas sobre el contenido conforme se vaya revisando (p. ej., a través de las encuestas de Zoom).	Londino-Smolár (2020)
15. Fomentar la creación de comunidades virtuales, en especial en grupos muy numerosos, en la forma de células de estudio o foros de discusión.	
16. Aprovechar los chats que acompañan a las plataformas de videoconferencia para que estudiantes que no se sienten cómodos preguntando frente a sus pares lo hagan de manera privada. El registro anonimizado del chat puede compartirse con el grupo, a la manera de una sección de preguntas frecuentes.	
17. Brindar retroalimentación sobre el desempeño y orientación con respecto al curso a través de videos y audios, no solo textos.	
18. Incorporar ejemplos de faltas o delitos relacionados con el covid-19 para ilustrar la relación entre el contenido del curso y el mundo real. La violencia doméstica, la venta de curas falsas/falsificadas o certificados falsos de vacunación, o el incumplimiento de medidas sanitarias son algunos temas que pueden vincular a la pandemia con la ciencia forense.	The University of Newcastle, Australia (2020)

o préstamo de materiales, y m) diseño de mini-escenas para trabajo individual en condiciones de distanciamiento social. A continuación, se tratarán con más detalle cada una de estas intervenciones.

### Realidad virtual inmersiva

Integrar la RV a la enseñanza de la criminalística, a través de la recreación de espacios como los lugares de investigación, no es precisamente un tema nuevo, aunque con la pandemia cobró relevancia por conjuntar la telepresencialidad, la capacidad de crear, multisensorialmente, espacios reales o imaginados e interactuar con ellos, y la oportunidad de brindar retroalimentación inmediata sobre el desempeño. La RV ofrece al alumnado un entorno o espacio continuo (en contraste con la perspectiva desarticulada de un registro fotográfico) donde ubicar los indicios y vislumbrar cómo están vinculados entre sí (38). Entre los usos que se le han dado a la RV con fines didácticos antes de la pandemia están el análisis de casos a partir de su reconstrucción en 3D (como el asesinato del joven afroamericano Trayvon Martin, realizado por De la Peña (39), o el proyecto del forensic holodeck de la Universidad de Zúrich, 40); la recreación en la plataforma Second Life (41,42,43) de salas de juicio virtuales donde escenificar juicios orales, y la exploración de la escena de un crimen en el formato de un videojuego (44).

La búsqueda realizada para esta revisión arrojó varias aplicaciones de la RV a la enseñanza de la criminalística. Mayne y Green (45) crearon un lugar de la investigación virtual que permite explorar interactivamente el entorno (caminando con un visor de RV o utilizando un control remoto semejante al de una consola de videojuegos), buscar indicios y tomarles fotografías, además de llevar a cabo algunas tareas de procesamiento como colocar marcadores de indicios. Por su parte, Hassenfeldt y sus colegas (46), en un curso de análisis forense digital y ciberseguridad, crearon una experiencia de RV inmersiva para adiestrar a sus estudiantes sobre tipos de evidencia, métodos y herramientas para extraer y visualizar información digital, integridad de la evidencia y cadena de custodia, y programas para realizar análisis forense digital. La experiencia invita a resolver un caso de espionaje industrial, para lo cual se parte de procesar la oficina de un ejecutivo. No obstante su versatilidad, adoptar la RV se topa con obstáculos importantes, entre los principales, el elevado costo del equipo y la necesidad de capacitar a los y las docentes en programación para que puedan crear escenarios virtuales. Enfocándose en la formación de profesionales de la química, pero relevante para la didáctica de la ciencia forense, un equipo de la Universidad Nacional de Singapur desarrolló un escenario virtual mixto, en el que elementos reales se incorporan a una escena virtual, con la finalidad de desarrollar competencia para priorizar, recolectar y analizar indicios y, a partir de ellos, reconstruir la mecánica de los hechos. Importantemente, la interfaz de la plataforma con la que construyeron su escenario virtual (*Uptale*) es sencilla de utilizar, al no requerir de conocimientos de programación, mientras que el estudiantado puede explorar el escenario con lentes de RV de bajo costo adaptados a su teléfono celular (38).

### Laboratorios o escenas virtuales y trabajo en casa

Si bien el enfoque de este apartado está puesto en laboratorios y escenas virtuales no inmersivas y trabajo en casa, quienes optaron por estas alternativas implementaron una variedad de recursos para apuntalar la enseñanza en línea. Decidimos incluir dicha variedad para ofrecer una visión lo más fiel posible del enfoque holístico de sus autores y autoras. Junto con los laboratorios virtuales incluimos, pues, escenificaciones de lugares de investigación virtuales pero que no recurrieron a la RV, dada la semejanza de su operación con la de los primeros.

Para impartir a distancia un curso de ciencia forense, Londino-Smolar (47) integró múltiples recursos didácticos alrededor de un laboratorio virtual que permitía al estudiantado diseñar experimentos, generar datos e interpretar resultados. La primera parte del laboratorio consistía en la exploración de un lugar de investigación en donde los y las estudiantes, con sus decisiones, determinaban el curso de la investigación. En secciones subsecuentes, llevaban a cabo análisis serológicos y comparaciones de indicios (impresiones dactilares, restos de incendios o cabellos). El trabajo en el laboratorio virtual se complementó con kits comerciales, adaptados a los objetivos del curso, para que el alumnado trabajara en casa; tutoriales sobre el contenido de los kits; videos interactivos con expertos forenses; demostraciones de fuego y explosiones; imágenes de indicios balísticos y de patrones de calzado en 3D, y recorridos virtuales creados a partir de fotografías de laboratorios forenses que brindan servicios a la policía.

Adoptando una estrategia integral semejante a la anterior para sus cursos de bioquímica y serología forenses, Elkins y Zeller (23) recurrieron a videos pregrabados sobre procedimientos de laboratorio y sus resultados; presentaciones en PowerPoint interactivas e hipervinculadas que permiten al estudiante tomar decisiones sobre los análisis a realizar en un caso simulado; actividades de laboratorio en modalidad híbrida donde cada estudiante podía elegir entre acudir al laboratorio o usar un laboratorio virtual; sesiones sincrónicas en las que los y las estudiantes dirigían las acciones del profesor y sus asistentes en el laboratorio para analizar los indicios de un caso; escritura de reportes, y simulación de un juicio. La pareja docente recurrió a dos tipos de laboratorios virtuales: uno creado por ellos mismos y otro comercial. Para el primero, se tomaron fotografías de equipos (por ejemplo, pipetas), de acciones ejecutadas, de resultados de las pruebas analíticas y de observaciones al microscopio. A partir de esta información, el estudiantado documentó los procedimientos en su bitácora e interpretó los resultados. Para el segundo, los y las estudiantes completaron seis módulos de Labster: seguridad en el laboratorio, bioseguridad, preparación de soluciones, pipeteo, anticuerpos y la prueba ELISA. Quizás lo más interesante de esta estrategia sean las sesiones sincrónicas en las que el profesor actuó como las manos del estudiante en el laboratorio, siendo él o ella quien decidía los pasos a seguir y las cantidades de reactivos a añadir.

Con el fin de familiarizar al estudiantado con “los parámetros y los conceptos que influyen en la eficiencia de un procedimiento experimental”,

Bassindale et al. (48) desarrollaron una serie de simulaciones sobre optimización de pruebas de PCR, análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, cromatografía líquida de alta eficacia, purificación de proteínas a partir de lisados celulares e identificación de proteínas en materiales biológicos. Además de adoptar el esquema hacer-explorar-actuar para secuenciar las actividades en el laboratorio virtual (ver tabla 5, incisos 6 y 10), los autores las suplementaron con actividades pre-laboratorio, videoconferencias, tutoriales, bitácoras electrónicas y sesiones de preguntas al término del trabajo en el laboratorio virtual.

Otra aproximación integral al trabajo práctico en el laboratorio la implementaron (en el Departamento de Ciencia Forense de la Universidad de la Mancomunidad de Virginia) Cannon y sus colaboradoras (35), quienes, a los laboratorios virtuales, sumaron escenas del crimen montadas por el estudiantado (*do-it-yourself crime scenes*), videoconferencias, exposiciones grabadas, demostraciones de programas de cómputo y acceso remoto a ellos, espacios virtuales colaborativos (*breakout rooms*), presencia simultánea de un docente en dos salones, presencialmente y a través de videoconferencia (para procurar la sana distancia entre el alumnado), e interrogatorios de estudiantes en el papel de testigos expertos. Los laboratorios virtuales de serología siguieron un esquema muy parecido a los de Elkins y Zeller (23): presentaciones interactivas de PowerPoint, hipervinculadas y con animaciones complejas. Para las escenas, el alumnado se valió de las cámaras de sus teléfonos celulares y de artículos de uso común como harina, pinceles o brochas, cinta adhesiva transparente, reglas o cintas métricas, animales de peluche o muñecas. Reportan las autoras que, aún con estas carencias, consiguieron planear, escenificar, documentar y procesar un lugar de investigación en algún espacio de sus hogares. Para sacar más provecho de la actividad y consolidar el aprendizaje, cada estudiante recibió la documentación de la escena de un o una compañera para reconstruirla.

Brunelli y Macirella (22), para su curso de microscopía aplicada a la biología forense, emplearon videos tutoriales para guiar la realización en casa de las actividades que originalmente se llevaban a cabo en el laboratorio, utilizando materiales al alcance de cualquiera. Cuando las actividades requerían de equipo o material inaccesible para el estudiantado, recurrieron exclusivamente a videos explicativos de los procedimientos experimentales. Kochis (15), por su parte, implementó una práctica de antropometría en casa, en la que sus estudiantes midieron las dimensiones corporales de dos integrantes de su familia con cintas métricas u otros instrumentos de medida disponibles.

Los laboratorios virtuales pueden ser muy útiles para enseñar los fundamentos de las técnicas de una disciplina forense, pero no necesariamente lo son para dar a entender las complejidades inherentes a la interpretación de los datos ni para desarrollar habilidades motoras finas. Hay incluso quienes opinan que este tipo de laboratorios, al despojar a los errores de consecuencias reales, pueden fomentar en el estudiantado poca seriedad, descuido de la responsabilidad y poca atención (49). Además de estos inconvenientes, el uso

excesivo de equipos digitales puede ser causa de “fatiga de Zoom” o cansancio por “comunicación mediada por computadora” (50), problema al que abonan los laboratorios virtuales. Para crear oportunidades de aprendizaje en las que sus estudiantes pudieran desconectarse de sus computadores e internet, Tidy y Parker (51) los y las invitaron a explorar sus hogares, sin necesidad de equipo especializado, con la intención de reunir datos que interpretar desde una perspectiva forense. En la tabla 6 se enlistan y describen los ejercicios realizados.

**Tabla 6.** Ejercicios de interpretación de objetos cotidianos encontrados en el hogar como indicios forenses.

<p>Ejercicio #1. Interpretación de fibras como indicios forenses</p> <p>Se solicitó que registraran y clasificaran quince prendas de vestir de su guardarropa en función del tipo y color de sus fibras. A partir de los datos de todos y todas las estudiantes se determinó cuál es la frecuencia de los diferentes tipos y colores de fibra. Estos resultados se compararon con estudios publicados. Se discutió por qué la información en una base de datos puede ser diferentes de las de una población, y cómo impacta esto en la interpretación de indicios con fines forenses.</p>
<p>Ejercicio #2. Interpretación de restos de vidrio como indicios forenses</p> <p>Se solicitó que recorrieran las zonas aledañas a su hogar para registrar fragmentos de vidrio roto, clasificándolos de acuerdo con sus características y registrando el tipo de zona (urbana o rural) en las que los hallaron. A partir de los resultados de todo el grupo, se determinó cuáles son los fragmentos de vidrio “de fondo” (background) en diferentes zonas. Se reflexionó sobre la importancia de conocer este dato para interpretar indicios con fines forenses.</p>
<p>Ejercicio #3. Interpretación de muestras de pintura como indicios forenses</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Parte 1: se solicitó que recorrieran las zonas aledañas a su hogar y registraran el color de las ventanas de los edificios, así como si eran o no de doble paño (termoaisladas). Los resultados del grupo se usaron para calcular frecuencias de las características registradas y se compararon con estudios publicados. Se discutió cuál es el valor del color de un vidrio en casos de robo a casa-habitación cuando la mayoría de las ventanas son de doble paño.</li> <li>▪ Parte 2: se solicitó que, con plumones, crearan diez ejemplos de muestras de capas de pintura, eligiendo los colores libremente, como las que se podrían tomar de paredes que han sido repintadas. En el grupo se compararon los patrones de capas de colores para averiguar cuáles y cuántos patrones se habían repetido, y decidir con base en los hallazgos si las muestras de capas de pintura podrían servir con fines de identificación. Los resultados se compararon con estudios publicados.</li> </ul>
<p>Ejercicio #4. Análisis de patrones de desgaste en calzado</p> <p>Se solicitó que documentaran el patrón de desgaste y daño de hasta cinco pares de sus propios zapatos. Los patrones se mapearon a diferentes zonas del calzado y se discutió de qué manera los hallazgos podrían influir en la interpretación de indicios forenses.</p>

Un ejercicio de ludificación (*gamification*) del laboratorio, semejante en su lógica a uno de los reportados por Elkins y Zeller (23), fue llevado a cabo por Ibrahim Baggili (profesor de ciencias de la computación en la Universidad de New Haven, EEUU) en un curso de introducción al análisis forense digital. El ejercicio consistió en controlar vía remota las acciones en la escena del crimen de un investigador que llevaba un cámara GoPro montada en un casco para esquiar. La cámara transmitía las imágenes en vivo a través de la plataforma Twitch, de manera que el estudiantado podía dirigir en tiempo real las acciones de procesamiento de la escena. Posteriormente, se decidió cuáles eran los indicios más prometedores y qué había que hacer con ellos (52).

### Imágenes, videos y especímenes

El manejo, producción y análisis de imágenes (fotografías, radiografías) y especímenes (huesos, piezas dentales) es parte central de la didáctica de varias



disciplinas forenses. Knivsberg y colaboradores (53), en su curso de odontología forense, usaron el escaneo intraoral para producir modelos de superficie en 3D de la dentadura de pacientes voluntarios, en sustitución de exámenes físicos de pacientes o cadáveres. Junto con expedientes clínicos electrónicos (que incluían radiografías, fotografías y textos descriptivos) y fotografías de piezas dentales, los escaneos intraorales se usaron en ejercicios de estimación de edad y de comparación de registros ante-mortem y post-mortem en el contexto de un accidente simulado. Si bien el análisis de material visual no permite identificar características dentales que solo pueden detectarse en una exploración física, el acceso a este tipo de material es, de acuerdo con los y las autoras, lo suficientemente cercano a la realidad para ser satisfactorio en la enseñanza de nivel licenciatura, y puede complementar ejercicios presenciales que antes de la pandemia se llevaban a cabo, con varias limitantes, en clínicas y morgues.

Para un curso de medicina forense y patología (54), la demostración de técnicas de reducción de la violencia y control corporal, usadas en entornos clínicos y por la policía, se sustituyó por videos disponibles en YouTube que ilustran buenas prácticas, y la exploración física se realizó a través de modelos anatómicos en 3D. Twitter sirvió como un medio de difusión de material relevante para el curso y como receptor de mensajes alentadores de parte de estudiantes. En un curso de patología forense llevado a cabo en la Universidad de Pécs de Hungría se utilizó la fotogrametría, ante la imposibilidad de que el estudiantado asistiera a las autopsias que solían ser la norma, para crear modelos de superficie texturizados en 3D a partir de fotografías superpuestas tomadas desde diferentes ángulos. El modelo resultante puede rotarse y ampliarse a voluntad. A diferencia de la filmación de videos, tomografías computarizadas post-mortem e imágenes de resonancia magnética nuclear, la fotogrametría es, comparativamente, más fácil de usar y más económica, en parte gracias a la disponibilidad de cámaras digitales de alta resolución y programas de manipulación de imágenes, tanto gratuitos como comerciales, para crear modelos fotogramétricos en 3D. Además de su beneficio educativo, según los y las autoras, la fotogrametría podría usarse para documentar autopsias en casos forenses reales (55).

### Bases de datos

Una contribución prometedora al campo de la enseñanza de la genética forense apareció durante la pandemia en la forma de FauxDIS (56), una base de datos de perfiles genéticos, actualmente integrada por 150, inspirada por CODIS (*Combined DNA Index System*). Su finalidad es permitir a estudiantes investigar delitos simulados obteniendo perfiles a partir de indicios biológicos hallados en un lugar de investigación para después confrontarlos con los almacenados en FauxDIS, pudiendo calcularse estadísticamente la probabilidad asociada a las correspondencias, así como frecuencias alélicas. Las creadoras de este recurso didáctico buscan enriquecer el contenido de la base de datos y hacerla accesible a docentes de todo el mundo: el requisito para conseguir el acceso es proporcionar un perfil nuevo y completo para incorporarlo a FauxDIS.

### Programas de cómputo y dispositivos digitales

Además de gestionar videoconferencias, Zoom resultó ser una herramienta útil para enseñar a usar programas de cómputo, a través de su función de control remoto: gracias a ella, el estudiantado pudo tener acceso desde casa a programas instalados en las terminales de la universidad para analizar los resultados de pruebas de PCR en tiempo real y de la obtención de perfiles humanos, así como recibir asesoría en tiempo real para resolver problemas técnicos de parte de personal de apoyo técnico, del equipo docente o de otros estudiantes, a quienes se les podía dar acceso remoto a la computadora del estudiante en problemas (35).

De entre las tecnologías emergentes, los drones han cobrado particular notoriedad forense por su uso como transporte de artículos de contrabando, especialmente drogas; vigilancia, espionaje y violaciones a la privacidad, e, incluso, ataques con explosivos (57,58). Durante la pandemia de covid-19, se usaron para vigilar el cumplimiento de medidas sanitarias como el distanciamiento social y el confinamiento. Aprovechando esta coyuntura, la empresa Spyder Forensics ofreció cursos en línea de análisis forense de drones, enviando por correo kits que incluían un dron, un tutorial para aprender a volarlo y recopilar datos y equipo para extraer información de discos duros (un *write blocker*). Para brindar asesorías personalizadas, la plantilla docente recurrió a webcams para guiar a los y las participantes y ayudarles a corregir errores. Además, a cada estudiante se le asignó una laptop ubicada en las instalaciones de la empresa a la cual podía conectar la computadora de su casa, a fin de que los y las instructoras pudieran monitorear su trabajo vía remota. De acuerdo con un representante de la empresa, podía verse si alguien se estaba retrasando o si había problemas con el equipo o internet. El instructor podía acceder a la computadora del estudiante, tomar control del teclado y del ratón y explicarle las acciones correctivas que estaba realizando (59).

### Videoconferencias

Además de los usos que ya se han mencionado, las plataformas de videoconferencia le permitieron a Xanthé Mallett (profesora de criminología en la Universidad de Newcastle, Australia) grabar una serie de entrevistas con expertos que, antes de la pandemia, solía invitar a su salón de clase. Dado que el transporte, los viáticos y el hospedaje no son un factor para organizar una videoconferencia, la académica aprovechó para ampliar su alcance y entrevistar a expertos de otras latitudes (60). En el Reino Unido, una plataforma de videoconferencia se usó para que el equipo docente escenificara y grabara el interrogatorio y contrainterrogatorio de un perito criminalista como parte de un juicio oral. La sesión se transmitió en vivo para que el estudiantado pudiera interactuar en tiempo real con quienes participaban en la escenificación, identificaran buenas prácticas y áreas de oportunidad (en el guión de la escena se incorporaron deliberadamente errores) y reflexionaran sobre cómo



responderían personalmente a las preguntas del fiscal y del abogado de la defensa. La adopción de esta modalidad obedeció al deseo de no someter al estudiantado al proceso de dar su testimonio y ser cuestionado directamente, lo que podría haberle resultado incómodo a estudiantes con poca experiencia o con problemas de conexión (16).

#### Prácticas profesionales a distancia

El covid-19 obstaculizó enormemente la enseñanza clínica, en particular, aquella que se llevaba a cabo en centros correccionales. Hasta antes de la pandemia, la telepsiquiatría no había sido incorporada de manera amplia al abanico de recursos didácticos de los programas de especialidad, en particular los orientados al área forense. Como parte de una rotación en telepsiquiatría, cuatro médicos residentes brindaron atención psiquiátrica a distancia a jóvenes reclusos de entre 15 y 20 años. La experiencia consiguió despertar el interés de los residentes en, y familiarizarlos con, esta modalidad de atención, dejándolos muy satisfechos de haber participado. Tres de los cuatro opinaron que la atención a distancia aumentaba la seguridad tanto para el personal médico como para los pacientes, aunque antes de participar uno temió que pudiera ocurrir algún episodio violento sin poder apoyar físicamente en su contención. Todos consideraron que la telepsiquiatría podría aumentar el acceso a este tipo de atención en escenarios carcelarios a un menor costo, y apreciaron la oportunidad de colaborar con el equipo de enfermería del centro para coordinar la atención. En tanto herramienta didáctica, la telepsiquiatría demostró ser una alternativa efectiva para entrenar a residentes y brindarles experiencia en el cuidado de poblaciones privadas de su libertad (61).

Además del ejemplo de la telepsiquiatría forense, poco se ha escrito en foros académicos sobre cómo llevar a un entorno en línea las prácticas profesionales en el campo forense. El análisis digital forense o la investigación de delitos cibernéticos son tareas que naturalmente se prestan al teletrabajo, por ejemplo, a través de proyectos sobre apps encriptadas, el internet de las cosas (IoT), relojes inteligentes o la *dark web* (59).

#### Equipos portátiles y accesibles

Con el cierre de los laboratorios, se perdió el acceso a todo aquel equipo especializado necesario para el desarrollo de destrezas, equipos de alto costo que no pueden moverse de lugar en virtud de su tamaño o por requerir, para su funcionamiento, de instalaciones (voltaje, gas, vacío) y consumibles muy particulares. Aprovechándose de la enseñanza por indagación, la iniciativa SMILE (acrónimo de *Small, Mobile Instruments for Laboratory Enhancement*) (62) invita a estudiantes universitarios a diseñar, construir, caracterizar y poner a prueba instrumentos analíticos pequeños, portátiles y de bajo costo que puedan compartirse con otros estudiantes en la forma de kits o de las instrucciones para construirlos. En su catálogo cuenta con un levantador electrostático de

impresiones capaz de recuperar patrones de tierra o polvo depositados sobre diferentes superficies por el calzado, o por las manos sobre paredes o puertas. Este equipo tiene un costo de entre 50 y 70 dólares (1,000 a 1,500 pesos mexicanos), cuando equipos comerciales equivalentes pueden llegar a costar arriba de 650 dólares (más de 13,000 pesos).

#### Medidas de higiene y sana distancia

Instituciones afortunadas que cuentan con espacios amplios o al aire libre han podido continuar con las actividades prácticas presenciales. En su curso de introducción a la ciencia forense, James Jabbour, profesor de ciencias y matemáticas en Curry College, aprovechó que sus estudiantes ya habían sido entrenados para trabajar de manera higiénica en los laboratorios —sanitizando sus espacios de trabajo y usando guantes, por ejemplo— para permitirles trabajar en estaciones de trabajo individuales, separadas por casi dos metros entre sí, además de hacer trabajo de campo, guardando la sana distancia y siempre y cuando las condiciones meteorológicas lo permitieran (63). Por su parte, en la Universidad de Rutgers se habilitaron, en la forma de mini-escenas, espacios del tamaño de un clóset para trabajo individual que el estudiantado podía reservar para llevar a cabo prácticas de dactiloscopia, análisis de huellas de calzado y llantas, balística y análisis de patrones de manchas de sangre. Cada participante recibía un procedimiento estandarizado de operación con la información necesaria para realizar el procesamiento de indicios y su análisis (29).

Con esto concluye el repaso de las iniciativas adoptadas desde distintas disciplinas forenses para continuar con su enseñanza a pesar de las restricciones sanitarias, enfocadas en compensar la falta de acceso a laboratorios y espacios para escenificar delitos. Si bien todas estas medidas dan fe de la importancia de la formación práctica para el perfil de los y las científicas forenses, también demuestran que existe una gran riqueza de recursos para desarrollar las habilidades del estudiantado, recursos que, seguramente, en mucho contribuirán a robustecer la enseñanza de la ciencia forense y sus disciplinas componentes en el futuro, con o sin pandemia. En la siguiente sección se detallarán algunos resultados sobre la efectividad y la recepción por parte del alumnado de algunas de las intervenciones educativas descritas.

#### *Lecciones aprendidas*

Uno de los resultados más gratificantes de la transición forzada a la enseñanza a distancia quizás haya sido la buena aceptación de, y el compromiso del estudiantado con, las medidas adoptadas. De acuerdo con Moran, sus cursos a distancia y en modalidad híbrida registraron una asistencia superior a la de sus cursos tradicionales, además de que sus estudiantes cumplieron con la entrega de todas las tareas solicitadas, cosa que no ocurría antes. Notó mucho más interés en la clase y sus estudiantes parecían genuinamente más entusiastas (29). Otros autores, igualmente, reportaron un nivel alto de involucramiento en la clase, de participación en las actividades y de entrega de tareas (23,54).

En los estudios que reportaron algún tipo de evaluación de sus intervenciones educativas, la retroalimentación recibida de parte de la población estudiantil fue, en su mayoría, positiva. En específico, se registró un alto grado de satisfacción con la enseñanza por parte del cuerpo docente o con el desarrollo tecnológico (30,45,48,51,55), los métodos didácticos implementados (22,23,53,54), los ejercicios prácticos planteados (23,51,53), el nivel de desafío intelectual (48,63), la utilidad del conocimiento aprendido (51,54), el tiempo disponible para revisar materiales del curso (54), el desarrollo de habilidades (54), y el disfrute de, o el aprecio por, la actividad o la asignatura (30,48,51,54).

Las opiniones del estudiantado con respecto a las clases en línea mediada por un sistema de gestión del aprendizaje (específicamente, Google Classroom) se exploraron en el contexto de un curso de medicina forense en India: las ventajas del sistema, en las que la mayoría del estudiantado estuvo de acuerdo, fueron que constituía el mejor medio de aprovechar el periodo de confinamiento sin interrumpir el estudio de la asignatura; resultaba muy fácil de usar, pudiendo acceder a él desde cualquier lugar y revisar el material cuantas veces se deseara; permitía recibir retroalimentación útil e instantánea sobre el desempeño; ofrecía la opción de comunicarse de forma privada y por escrito con el o la profesora a través del chat, y facilitaba monitorear el estatus de las tareas y sus calificaciones. Una minoría opinó que la asignación periódica de tareas después de la clase les ayudaba a recordar los conceptos, se sentían menos presionados por tener que copiar las diapositivas y estudiaban con menos estrés. Sobre las desventajas, las principales reportadas fueron que las clases en línea no son tan efectivas como las tradicionales, por no permitir la interacción entre las personas; consume muchos datos de internet, requiere de espacio de almacenamiento adicional en la computadora y es vulnerable a la interrupción del servicio de internet, lo que puede retrasar las notificaciones; puede ser complicado ubicar material y subir tareas, y requiere de un periodo de adaptación para sentirse comodidad al usarlo (64).

En general, las iniciativas encaminadas a ampliar la aplicación de la RV en la creación de escenarios inmersivos e interactivos (sobre todo, lugares de investigación criminalística) fueron bien recibidas por el estudiantado, mostrándose mayoritariamente satisfecho con la experiencia (30,38,45,46). En los siguientes párrafos se detallan los principales hallazgos de las diferentes iniciativas por incorporar la RV a la enseñanza de disciplinas forenses.

Mayne y Green (45) evaluaron tanto la efectividad de su lugar de la investigación virtual como la opinión de quienes participaron en su puesta a prueba. Encontraron que estudiantes de posgrado y docentes conseguían un mejor desempeño que estudiantes de licenciatura en la inspección de la escena (lo que sugiere que sí representaba un desafío genuino). Por otra parte, todos los y las participantes opinaron que la sesión explicativa previa fue suficiente para familiarizarse con la app; el uso de los controles era intuitivo; la app era adecuada para aprender sobre el procesamiento de una escena del crimen, y utilizarla fue divertido. Entre la planta docente prevaleció la impresión de que

el escenario era fácil de explorar y que la experiencia sí resultaba inmersiva, pero que, por lo mismo, podía llegar a causar mareos. A pesar del alto grado de satisfacción de los y las usuarias, sugirieron añadir indicios tales como patrones de manchas de sangre, programar la posibilidad de desplazar el mobiliario y añadir el uso de regletas. Una limitante importante que los autores reportaron fue el costo de diseño y operación: 8,000 libras esterlinas (arriba de 200,000 pesos mexicanos).

Hassenfeldt y sus colegas (46) evaluaron la efectividad de su intervención comparando el desempeño y las opiniones de un grupo de estudiantes que utilizó el escenario virtual con el de otro que realizó el procesamiento de un escenario equivalente pero real. Encontraron que, independientemente del grupo, hubo una mejora en el conocimiento declarativo de quienes participaron sobre aspectos tanto teóricos como prácticos del procesamiento de equipo digital y el análisis forense digital. En cuanto a diferencias entre los grupos, no se registró diferencia estadísticamente significativa en términos de su conocimiento. El nivel de satisfacción fue alto, aunque hubo reportes de imágenes borrosas, incomodidad con el visor, dificultad para acostumbrarse a los controles y necesidad de tiempo para practicar con el sistema antes de tener que procesar la escena, sin que, aparentemente, se viera afectado el aprendizaje. En el mismo sentido, Kader et al. (38) recibieron reportes de dificultades de maniobrabilidad, falta de claridad en algunas imágenes y algo de mareo.

Con respecto al uso de los laboratorios virtuales, Elkins y Zeller (23) pudieron comparar el desempeño de estudiantes que eligieron laboratorios presenciales contra quienes optaron por los virtuales, encontrando que la calidad de las bitácoras del segundo grupo fue muy similar a la del primero. Por su parte, Bassindale et al. (48) hallaron que, en opinión de los y las usuarias, el sistema de comandos para controlar el laboratorio virtual resultó un buen mecanismo para dar instrucciones a la interfaz, ayudó a preparar los reportes para la bitácora electrónica y permitió explorar el laboratorio y cumplir con las actividades. El esquema hacer-explorar-actuar también fue bien recibido. A decir del estudiantado, las principales habilidades desarrolladas gracias a la experiencia fueron el registro en la bitácora, el análisis de datos, la resolución de problemas y el pensamiento crítico. Si bien la mayoría del estudiantado encontró el laboratorio “interesante”, “bueno”, “excelente” e “informativo”, algunos lo calificaron de “desafiante” o “frustrante”, en particular por colapsos del sistema que no permitían cumplir con las actividades. Aunado a lo anterior, hubo quienes reportaron necesitar más tiempo del programado para concluir con las actividades. De entre las conclusiones del estudio, destacamos el hecho de que, así como en los laboratorios presenciales, quienes más se prepararon antes de las sesiones prácticas obtuvieron mejores resultados, además de que existen estudiantes que requieren de confirmación constante de que están haciendo bien las cosas, quizás debido a cierta falta de experiencia con este tipo de herramientas digitales. Cannon et al. (35) también reportaron que el estudiantado encontró los laboratorios virtuales altamente efectivos para

cumplir con los objetivos del curso, en concreto, conocer los fundamentos de las pruebas serológicas, las medidas de prevención de la contaminación de muestras, el papel de los controles experimentales y la importancia de seguir procedimientos estandarizados de operación.

Las actividades de laboratorio en casa, como las planteadas por Tidy y Parker (51), fueron bien recibidas por los y las estudiantes, quienes agradecieron el receso que les proporcionó de sus dispositivos, permitiéndoles despejar sus mentes y descansar su vista. No obstante, consideraron que es más fácil recordar la información cuando se aprende a través de una actividad práctica “real” y no una virtual o simulada, y que las primeras son mucho más motivantes. El involucramiento fue mayor en un grupo que combinó actividades en casa con laboratorios virtuales, en comparación con otro que solo utilizó los segundos. Con respecto al aprendizaje, los y las participantes opinaron que las actividades en casa les permitieron consolidar su conocimiento con menos esfuerzo, no solo para aprobar los exámenes sino para proyectos futuros como el trabajo. Estas percepciones se vieron reflejadas en mejores calificaciones, en comparación con años previos. Un beneficio inesperado de estas actividades fue que, en algunos casos, se convirtieron en actividades que despertaron el interés de otros integrantes de la familia, interesando a los más jóvenes que también estaban tomando clases a distancia.

A pesar del carácter mayoritariamente positivo de las opiniones descritas arriba, también existe alguna evidencia de insatisfacción con la enseñanza en línea entre algunos y algunas estudiantes, en particular, hacia aquella que se basa en gran medida en plataformas de videoconferencia. Algunos inconvenientes identificados son que podrían ser más amigables con sus usuarios y usuarias, sobre todo cuando se comienza a usarlas; el o la docente tiene que brindar apoyo técnico a sus estudiantes para resolver dudas sobre la plataforma; los micrófonos se encienden en momentos inoportunos o quien interviene no lo enciende; la calidad de audio y video depende del ancho de banda; se presta más a distracciones sin que el o la profesora pueda percatarse de ello y remediarlo, y la interacción no es tan fluida como en las clases cara a cara (65). Asimismo, la población estudiantil echó de menos la interacción presencial con sus profesores y profesoras (54,64) y las demostraciones en vivo (54,55). Algunos estudiantes también experimentaron problemas de compatibilidad entre programas (53) o dificultades para usarlos (55). Finalmente, docentes y estudiantes valoran las innovaciones emprendidas para encarar la enseñanza a distancia más como un complemento de la instrucción práctica tradicional, que como sustitutos de las actividades prácticas (23,48,55).

Con respecto a la evaluación en línea, existen reportes de que algunos docentes sospecharon o notaron una extensa y flagrante deshonestidad académica de parte de estudiantes al responder los exámenes: a una profesora le llamó la atención que en el primer examen después de declarada la contingencia sanitaria arriba del 60 por ciento de sus estudiantes consiguiera la máxima calificación, cuando pre-pandemia lo normal era que solamente 5-7 por



ciento lo hiciera. También se detectaron instancias de textos copiados de las presentaciones de PowerPoint de la clase y pegados como respuestas en los exámenes, o de estudiantes que se comunicaron entre sí durante las evaluaciones. Como medidas para prevenir y combatir la deshonestidad académica se optó por anular exámenes, aplicar sanciones más severas, usar herramientas anti-copia para exámenes virtuales (como Respondus Lockdown) con monitoreo por cámara web, aleatorizar la secuencia de las preguntas, inhabilitar la posibilidad de regresar a preguntas previas, preparar versiones alternativas de los exámenes o borrar las copias de las presentaciones del aula virtual quince minutos antes del examen (35).

Además de las innovaciones que se han compilado para esta revisión, la pandemia también deja preguntas que la investigación educativa puede ayudar a contestar, empezando por averiguar qué ocurrió durante la pandemia con el desarrollo de esas habilidades psicomotoras que son clave para la realización de procedimientos de campo o de laboratorio, como el procesamiento de un lugar de investigación o el análisis de indicios, respectivamente. ¿Ocurrió efectivamente un atraso en el desarrollo de habilidades o, alternativamente, su deterioro? Para responder cabalmente a estas preguntas habrá que intentar, en esencia, comparar el desempeño de las generaciones que concluyeron sus estudios antes de la pandemia con el de aquellas que los vieron interrumpidos (por ejemplo, a través de diseños de tipo cuasi-experimental, 66), tratando de controlar las muchas variables, aparte del tipo de enseñanza práctica recibida, que pudieran influir en el desempeño. Mientras tanto, estudios como los de Heng et al. (67) pueden empezar a aportar piezas del rompecabezas. Entre otras cosas, este equipo de investigadores encontró que la habilidad de los estudiantes para extraer ADN plasmídico (reflejada en el rendimiento de la extracción y la pureza del ADN) es prácticamente igual si se les entrena usando una demostración en persona del procedimiento o una demostración grabada. (Y es significativamente peor si no les brinda ningún entrenamiento.) Esto sugiere que los métodos de enseñanza a distancia no necesariamente han de impedir o frenar el desarrollo de habilidades procedimentales.

Otra pregunta importante tiene que ver con la relación entre docentes y estudiantes: ¿cómo cambió la dinámica mutua al transitar hacia la enseñanza virtual, en particular en el caso de aprendizajes que requieren del modelado y moldeamiento que lleva a cabo el o la docente? Con respecto a esta relación crucial para el aprendizaje, el análisis de los resultados de una encuesta aplicada a estudiantes universitarios en China, que habían tomado clases teóricas y prácticas en línea a raíz de la pandemia, reveló que la calidad y la cantidad de las interacciones docente-estudiante pueden influir, directa y positivamente, en la percepción estudiantil de varios aspectos de la calidad del aprendizaje, e indirectamente, crear una atmósfera psicológica positiva en la clase y fomentar el involucramiento (*engagement*) del estudiantado en su propio aprendizaje (68). Comunicarse con franqueza y cuidar el trato dado al estudiante pueden ayudar a crear condiciones que contrarresten en mayor o menor medida los obstáculos

a la interacción que impone la virtualidad. Por su parte, en una muestra de estudiantes adolescentes en Portugal que cursaron tres meses de enseñanza a distancia seguidos por tres de presencial, no se registró una diferencia significativa en los niveles de percepción de cercanía en la relación docente-estudiante entre ambos periodos de instrucción, pero sí menores niveles de percepción de conflicto en el primer periodo con respecto al segundo (69). Las autoras del estudio atribuyen esta reducción en la percepción de conflictividad a las menores oportunidades de interacción que permite la enseñanza virtual. En tercer lugar, un estudio observacional de clases sincrónicas y asincrónicas de niveles básico y medio en Chile evidenció los diferentes patrones de interacción afectiva que ponen en práctica los y las docentes hacia sus estudiantes, y cómo estos patrones se trasladaron de la presencialidad a la virtualidad. En un extremo, quienes propiciaron una relación afectiva recurrían a un lenguaje coloquial (por ejemplo, usando emojis) en chats y mensajes de WhatsApp; buscaban o preparaban material visualmente atractivo; tomaban en cuenta los intereses, experiencias y conocimientos del estudiantado; fomentaban la participación y la colaboración; adaptaban su enseñanza a los soportes tecnológicos, y demostraban consciencia de la subjetividad del estudiante y de la materialidad de sus condiciones de vida. En el otro extremo, estaban quienes, además de no realizar ninguna de las acciones anteriores, no adaptaron la planeación de sus clases a las nuevas condiciones ni reaccionaron con flexibilidad ante situaciones imprevistas, enfocándose en cumplir los objetivos preestablecidos con la menor demora posible; desestimaron o ignoraron las expresiones de emoción y las preferencias del alumnado; privilegiaron la transmisión del contenido, y promovieron el aprendizaje superficial en lugar del profundo (70). Queda pendiente averiguar si algunos de los hallazgos descritos arriba pueden contribuir a aminorar los impactos negativos de la pandemia en la educación, como el abandono de cursos (71). Asimismo, resta explorar cómo afecta la enseñanza a distancia la capacidad de los y las docentes para modelar habilidades y actitudes, así como moldear el desempeño estudiantil, por ejemplo, a través de la retroalimentación en línea. Este tema cobra mayor relevancia aún si se acepta la premisa de que un o una docente constituye más que un modelo de destreza para sus estudiantes: es también un modelo moral y ético (72).

Finalmente, cabe preguntarse por los efectos del aislamiento físico de la telepresencialidad sobre la enseñanza, entendida esta como un constructo social en el que la interacción entre pares actúa como andamiaje del aprendizaje colaborativo. En un estudio sobre los efectos de la transición de la modalidad presencial a la en línea, realizado por los propios estudiantes en una universidad de los Países Bajos, varios hallazgos llevan a concluir que los entornos digitales pueden constituir un obstáculo importante al aprendizaje colaborativo. Los resultados de esta investigación que apuntan en esa dirección son: a) la percepción de que las conversaciones en línea resultan menos valiosas y efectivas por el cansancio que causa su uso prolongado, por lo difícil que puede llegar a ser expresar e interpretar emociones y sutilezas y por los pequeños retrasos que

interrumpen la interacción cuando la conexión a internet es lenta; b) la pérdida tanto de la motivación que brindan los y las pares como de la posibilidad de recibir retroalimentación, casual y constante, de su parte; c) la reducción en la frecuencia de las oportunidades para trabajar colaborativamente y la fragmentación del trabajo entre los y las integrantes del equipo, sin integrar las partes al final; d) la dificultad para coordinar el trabajo en común y mantenerse al tanto de los avances del resto del equipo, evitando el traslape de tareas; e) un aumento en la percepción de que los y las estudiantes se preocupan menos por los y las demás y se apoyan menos, a la par de mayores reticencias a expresar con franqueza sus ideas, y f) a diferencia del trabajo colaborativo, el trabajo individual se asoció con una menor sensación de competencia personal para cumplir con las tareas, es decir, mayor inseguridad. En suma, tanto la motivación como la productividad se vieron adversamente afectadas por la transición a la virtualidad (73).

## Conclusiones

La pandemia de covid-19 ha puesto a prueba la capacidad de las instituciones de educación superior, y de los sistemas de educación en general, para adaptarse a una crisis que obstaculiza la misión esencial de la universidad moderna: enseñanza, investigación y servicio público (74). Hacer de esta institución un sistema educativo resiliente y flexible ante desafíos que se anticipan en el futuro (inestabilidad política, inequidad social, presupuestos apretados, cambio climático, etc.) requerirá, entre otras cosas, de atender puntualmente los retos técnicos, pedagógicos y disciplinares que identificó la IAU. En el caso de la ciencia forense, la enorme diversidad de disciplinas que la integran multiplica los retos que reclaman atención. Si damos crédito a las etapas que intervienen en la adopción de nuevas tecnologías digitales, según la teoría de los recursos y la apropiación (21), esta pluralidad disciplinar implica una correspondiente variedad de motivaciones entre el profesorado detrás de la adopción de, o reticencia ante, estas tecnologías; diferentes niveles de alfabetización digital que requerirán de una capacitación diferenciada; inversión en un conjunto de tecnologías que respondan a diversas necesidades de enseñanza-aprendizaje, y la implementación de una batería de mecanismos de evaluación que permitan conocer si se cumplieron los objetivos para los cuales se recurrió a las tecnologías digitales, además de si profesores y estudiantes quedaron satisfechos con los resultados cerrando un círculo virtuoso, esta información servirá de insumo para motivar un mejor uso de las tecnologías digitales y ajustar la capacitación docente.

A pesar de múltiples problemas, el alto grado de satisfacción de la población estudiantil con las innovaciones realizadas por la planta docente es, quizás, uno de los resultados más relevantes y positivos. Probablemente, cierto grado de tolerancia haya influido en lo optimista de la respuesta, conscientes



de que los y las docentes habían tenido que improvisar soluciones rápidas para continuar con la enseñanza de cara al cierre de las universidades. No obstante, es bastante claro que para el estudiantado las alternativas en línea son eso: alternativas a la enseñanza práctica de cuerpo presente. Esta percepción aboga por la conveniencia de poner en práctica medidas para suplementar la formación, trunca en cierta medida, del estudiantado afectado por la pandemia. Más adelante se dirá más al respecto. Cuando se reanude la enseñanza presencial, es de esperar, y sería deseable, que las alternativas digitales se incorporen al trabajo práctico, enriqueciéndolo para beneplácito de los y las estudiantes.

La mayoría de las adaptaciones a la pandemia descritas líneas arriba se efectuaron en países con altos índices de desarrollo socioeconómico y pertenecientes a la esfera anglosajona. Este sesgo puede condicionar la efectividad didáctica de cualquier estrategia o método que se decida aplicar, y es una invitación a documentar y poner a prueba las innovaciones en diferentes contextos para mejorarlas y adecuarlas a las necesidades y recursos particulares de cada región, institución y, en última instancia, de cada salón de clases. En su reflexión sobre la respuesta educativa a la pandemia en el Reino Unido e India, Thompson et al. (16) encontraron abundantes similitudes en las respuestas de los programas universitarios de ciencia forense de ambos países, pero también aspectos que las distinguen y que obedecen a la disponibilidad de herramientas y al contexto estudiantil. Por ejemplo, al comienzo de la pandemia, muchos estudiantes internacionales que cursaban sus estudios en el Reino Unido regresaron a sus países de origen, pero continuaron con las clases en modalidad a distancia. Para ellos y ellas, las diferencias horarias representaron un obstáculo para participar en sesiones sincrónicas. En países donde la población estudiantil es mayoritariamente local, como ocurre en India, este problema fue menos prevalente. Tampoco hay que dejar de lado que las decisiones que tomen los sistemas sanitarios de cada país determinan en buena medida el rango de acción de los sistemas educativos.

Otro sesgo para tomar en cuenta es el hecho que lo que se ha publicado hasta ahora tiende a dar cuenta de innovaciones prometedoras o que han funcionado razonablemente bien, no de aquellas que han fracasado. Las referencias encontradas son con toda seguridad apenas unas gotas de agua en el océano de las adaptaciones a la pandemia en el área de la enseñanza de las ciencias forenses. Investigar las deficiencias, además de brindar un panorama más amplio de cómo respondió el sector educativo a un episodio que pasará a la historia, abre la posibilidad de buscar soluciones y continuar ampliando la didáctica de la ciencia forense. Cuando menos a nivel institucional, conocer estos fracasos puede ser importante para apoyar pedagógica y técnicamente al profesorado y mantenerlo motivado en sus esfuerzos por innovar en beneficio de la calidad docente.

La modalidad a distancia o híbrida, en línea, abrió las puertas a una enseñanza con más opciones de interacción, más individualizada y autónoma, que permite al estudiante avanzar a su ritmo, además de más inclusiva, en

especial de quienes viven lejos de la universidad, trabajan para mantener a una familia o tienen que cuidar de otras personas. Y todavía puede aprovecharse para más, por ejemplo, desarrollando las habilidades de comunicación de futuros profesionales forenses, dándole más espacio a la comunicación escrita o a través de medios audiovisuales, y definiendo con más precisión los objetivos de aprendizaje a fin de ajustarlos a los mejores medios para alcanzarlos. Por ejemplo, el procesamiento físico de un lugar de investigación puede enfocarse en el aprendizaje de cómo prevenir su contaminación, mientras que el de uno virtual puede usarse para aprender a interpretar indicios en la construcción de una teoría del caso (16). Paradójicamente, la enseñanza a distancia puede terminar por ser benéfica para la enseñanza práctica en laboratorios y otros espacios especializados, que podrán reservarse para la enseñanza de aquellos aprendizajes que no pueden alcanzarse de otra manera, fomentando interacciones lo más significativas posibles entre el estudiantado, y entre este y sus docentes. En términos más generales, la hibridación de las modalidades a distancia y presencial puede acabar de apuntalar la transición desde una pedagogía dedicada principalmente a cubrir contenidos mediante exposiciones, hacia una enfocada en seleccionar y estructurar cuidadosamente actividades que atraigan la atención del estudiante, acompañadas por exposiciones más breves por parte del docente, menos preocupada por la calificación y más por el aprendizaje (75).

En un reporte citado por Gamage et al. (76) se exploraron los beneficios e inconvenientes pedagógicos de los laboratorios virtuales en las ciencias biológicas. El análisis del desempeño estudiantil sugería que este tipo de instrucción práctica era igual de efectiva que los laboratorios tradicionales en lo que toca a conocimiento y comprensión, además de que era compatible con un aprendizaje por indagación y no sufría de restricciones por cuestiones sanitarias, de seguridad o éticas. Su principal inconveniente yace en que le quita al estudiante la oportunidad de probar en vivo las técnicas o equipos, privándolo de la posibilidad de enfrentarse a resultados incorrectos o atípicos. Es probable, pues, que se graduen estudiantes en desventaja con respecto a generaciones previas por carecer de las competencias para realizar trabajo en el laboratorio. Esta clase de diferencias ameritan atención por parte de docentes para, en caso de detectarlas, buscar maneras de ayudar al estudiantado a corregirlas. Otro aspecto a cuidar es el desarrollo de las así llamadas *soft skills* (trabajo en equipo, liderazgo, asertividad, pensamiento crítico, compromiso social y adaptación al cambio, entre muchas otras) que pueden desarrollarse gracias a las interacciones cara a cara que ocurren en los laboratorios y otros espacios de convivencia académica (77). Para científicos y científicas forenses encargadas de coordinar equipos de investigación, evaluar críticamente dictámenes periciales y comunicar las implicaciones de los hallazgos al sistema de justicia, estas habilidades “suaves” pueden ser más relevantes que destrezas técnicas más especializadas.

Es difícil anticipar cuál será el costo para el estudiantado de la interrupción de la enseñanza práctica en los laboratorios, pero no sería de extrañar que experimentaran deficiencias en habilidades cuyo desarrollo no es

sencillo, o siquiera posible, trasladar a una modalidad de enseñanza en línea y a distancia. A partir del análisis de lineamientos para la enseñanza de la biología y la química en EEUU, Sonbuchner et al. (78) clasificaron las habilidades que establecen en tres tipos: a) las que pueden desarrollarse a distancia sin menoscabo; b) las que no es posible sin disponer de materiales de apoyo, como kits a casa, y c) las que sí requieren trabajarse en el laboratorio. Estas últimas son las que con toda seguridad no se han desarrollado lo suficiente, o ni siquiera se hayan podido enseñar a causa de la pandemia. Entre estas, los y las autoras identifican el manejo y desecho de materiales y reactivos; la medición de algunas magnitudes físicoquímicas (concentración, presión, absorbancia) y la selección del equipo adecuado para medirlas; el cumplimiento de medidas de seguridad y uso de equipo de protección personal, y la realización de técnicas específicas de estas disciplinas, tales como manejo estéril de muestras, titulaciones redox y ácido-base, disección de especímenes y tinción de muestras para microscopía, entre otras. Para compensar estas deficiencias, proponen tres alternativas: a) un boot camp (curso intensivo de entrenamiento básico) con sesiones calendarizadas una o dos semanas antes de iniciar un semestre; b) clubes de ciencia organizados en las horas libres para acudir al laboratorio, y c) cursos de triaje durante el semestre enfocados en adquirir específicamente aquellas habilidades prioritarias para continuar con cursos más avanzados. Un ejercicio semejante en el campo de la ciencia forense podría ayudar a esclarecer cuáles son esas habilidades por las que valdría la pena aplicar alguna de estas propuestas. Una enseñanza lo más flexible posible, como aquella de la que han sido pioneras las universidades abiertas, parece ser una alternativa viable para cerrar las brechas que pudiera haber provocado la interrupción de la trayectoria académica de quienes han pasado casi dos años estudiando en casa (79).

Dedicar la enseñanza en los laboratorios exclusivamente al desarrollo de esas habilidades que son imprescindibles para futuros profesionales forenses puede resultar en un uso más racional y eficiente de los recursos que se invierten en estos espacios, inversión que ha sido cuestionada por la falta de evidencia robusta sobre sus prometidos beneficios educativos (80,81). En el campo forense, las restricciones debidas a la pandemia han llevado a examinar el currículo para discriminar entre los objetivos susceptibles de llevarse a una modalidad en línea y aquellos que no: en sus clases en línea, Elkins y Zeller (23) centraron su atención en la comprensión de casos, la lógica de la metodología de la puesta a prueba de hipótesis, la toma de decisiones, el análisis de resultados y la preparación de reportes; algunas de estas habilidades fueron identificadas también por Sonbuchner y sus colegas (78) como susceptibles de desarrollarse a través de la enseñanza a distancia y en línea. Evaluar la coherencia entre los objetivos de aprendizaje, las actividades realizadas en el laboratorio y los resultados de la enseñanza puede llevar a comprender con mayor precisión cuáles son las habilidades que requiere un o una científica forense para desempeñarse satisfactoriamente a nivel profesional y, por ende, a afinar el perfil que se busca formar (82).

La creatividad y versatilidad demostradas por la comunidad académica forense son muestra de que la pandemia, además de una crisis, ha representado una oportunidad para innovar la práctica docente y reflexionar sobre ella. Una conclusión repetida en las referencias recopiladas es que, además de permitir lidiar con los repentinos obstáculos impuestos por la contingencia sanitaria, las medidas adoptadas constituyen aportaciones que vale la pena conservar cuando eventualmente se supere la pandemia de covid-19 (29). Resta entonces establecer mecanismos para conservar, compartir, consolidar y mejorar los productos de esta racha de innovación y reflexión, por más forzada que haya sido.

La comunicación pública de lo forense y la extensión académica son temas pendientes de la investigación en didáctica de la ciencia forense, en particular en tiempos de pandemia. Una colaboración entre el programa KIOSC (*Knox Innovation Opportunity & Sustainability Centre*), la Universidad Swinburne de Tecnología y el gobierno australiano organizó talleres vocacionales en línea dirigidos a estudiantes de entre 14 y 15 años, quienes participaron en una actividad en la que tenían que descubrir al responsable del robo de una vacuna contra el covid-19, sustraída de un laboratorio de biotecnología ficticio. A través de charlas con un experto sobre la importancia clave de la observación para resolver delitos y de asumir el rol de un investigador que realiza una batería de pruebas forenses, procesa entrevistas con sospechosos y desarrolla líneas de tiempo, los y las participantes terminaron por proponer los medios y motivos detrás del robo (83).

Además de sus efectos en la educación, la pandemia, inevitablemente, ha afectado el quehacer profesional de los y las científicas forenses. En una comunicación breve, Roux y Weyermann (84) concluyeron que, en el caso de la ciencia forense, resultará más productivo diseñar estructuras y organizaciones flexibles que concentrarse demasiado en evitar el riesgo. La mejor garantía para responder a retos, actuales y futuros, particularmente en un entorno crecientemente digital, sigue siendo una sólida aproximación científica, que incluya el pensamiento crítico y las colaboraciones interdisciplinarias, junto con procedimientos bien establecidos. Cómo puede la enseñanza de la ciencia forense contribuir a la generación de este tipo de estructuras y organizaciones flexibles es un tema que amerita reflexión desde la universidad, con trascendencia sobre aspectos como los modelos pedagógicos, planes y programas de estudio y perfiles profesiográficos, entre muchos otros.

Otro tema que se ha tocado poco es el estrés ocupacional y el bienestar del personal forense, en especial en el contexto de la pandemia. Al discutir las implicaciones de su estudio, Goldstein y Alesbury (85) apuntan que, tras 500,000 muertes registradas en los EEUU a causa del covid-19 o sus complicaciones, es de vital importancia investigar y atender el impacto de esta cifra en el personal forense, en particular, en quienes trabajan en los servicios médico-forenses. Aunque, por su temporalidad, su investigación no pudo indagar en aspectos relacionados con la pandemia, advierten que el Comité de Bienestar del Servicio Forense (*Office of Chief Medical Examiner*) de la ciudad de Nueva York se

encuentra recabando información longitudinal, cualitativa y cuantitativa, sobre el impacto del Sars-Cov-2 en la salud de sus empleados, así como sobre los posibles beneficios del ejercicio físico, la meditación, la terapia con perros y los programas educativos y comunitarios como reductores del estrés y del burnout. Aún antes de la pandemia, el bienestar físico y mental de futuros y actuales forenses es un tema que merece más atención por parte de la academia.

Así como los síndromes respiratorios agudos SARS y MERS anunciaron la posibilidad de una pandemia en un futuro no muy lejano (86,87), la sacudida educativa por la que estamos atravesando cristalizó inquietudes que ya se habían identificado años atrás e, incluso, planteado en la prensa: en 2014, Gabriel Zaid (88) escribió en el periódico mexicano Reforma que era necesario

*Separar las materias que requieren laboratorios, talleres, hospitales o la presencia física de un maestro de las que pueden enseñarse a distancia. Los costos de la presencia mutua (desplazarse para coincidir en un lugar y momento) son elevadísimos, y solo se justifican para algunas materias. Las demás deben impartirse de otra manera. [...] No ver la educación como una etapa previa a los años de trabajo, sino paralela y de toda la vida. Flexibilizar contenidos y calendarios en los planes de estudio para combinar educación y trabajo. Entrenar para el autodidactismo.*

Entender la educación como un proceso que se prolongará por el resto de la vida y, por consiguiente, preparar al estudiantado para aprender a aprender por su cuenta puede contribuir a superar la lógica del déficit que se asocia a la enseñanza en línea, señalada por Jessop (75) y según la cual se tiende a menospreciar a este tipo de instrucción comparándola desfavorablemente con las clases presenciales. Una enseñanza en línea flexible y que se extienda más allá de los cuatro años contemplados para concluir el programa de una licenciatura puede hacer mucho por remediar las deficiencias que pudieran existir en la formación de los y las científicas forenses. Y puede hacer mucho por impulsar una educación más inclusiva, efectiva y sustentable.

Más allá de los cambios que pudiera sufrir, o de nuevos retos que tenga que enfrentar, la desaparición de la enseñanza práctica, tal como la conocemos, en laboratorios, talleres, “escenas del crimen” y cualquier otro espacio diseñado para adiestrar al estudiantado es una posibilidad remota. Existe una fuerte convicción entre la comunidad docente, en particular la dedicada a la enseñanza de las ciencias, de que este tipo de enseñanza es parte crucial de lo que significa aprender ciencia, ya sea con fines de alfabetización científica o como propedéutica para quienes ingresarán a alguna carrera científica: los enormes esfuerzos por adaptar la labor docente a las condiciones que impuso la pandemia dan fe de la fuerza de esta convicción. Mientras existan experiencias de aprendizaje que no puedan replicarse virtualmente, la inversión en laboratorios de enseñanza gozará de justificación. Como lo expresó una profesora de ciencia, “Me metí

a este negocio de la enseñanza para conectar con los y las estudiantes y sé que (la enseñanza a través de la experiencia) es la mejor manera de ayudarlos a aprender” (89).

## Agradecimientos

Agradecemos al prestador de servicio social Christopher David Bautista Valverde su participación en la síntesis de los primeros artículos encontrados. Damos las gracias, asimismo, a Pamela Monserrat Pichardo Martínez y a Ivonne Lissete Ruiz Peralta, estudiantes de la Licenciatura en Ciencia Forense, por su apoyo con la verificación del contenido de los índices de las revistas empleadas para preparar este artículo. Ambas recibieron sendas becas para la conclusión de sus estudios de licenciatura, otorgadas por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, a través del proyecto PAPIME PE301421: gracias también.



## Bibliografía

1. Perkin H. History of universities. En: Forest JFF, Altbach PG, editores. *International Handbook of Higher Education*. Dordrecht (NL): Springer; 2007. p. 159-205.
2. Altbach PG. The past, present, and future of the research university. En: Altbach PG, Salmi, J, editores. *The Road to Academic Excellence: The Making of World-Class Research Universities*. Washington, D.C. (US): The World Bank; 2011. p. 11-32.
3. Marioni G, van't Land H, Jensen T. The Impact of COVID-19 on Higher Education around the World: IAU Global Survey Report. París (FR): International Association of Universities; 2020. 49 p.
4. Yonemura A, Nguni MM, Zhou H, Li S, Saunier JC, Abderrahman D. COVID-19: Reopening and Reimagining Universities, Survey on Higher Education through the UNESCO National Commissions. París (FR): Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO); 2021. 36 p.
5. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (FR). New UNESCO global survey reveals impact of COVID-19 on higher education. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; 2021 Jul 15.
6. Else H. How a torrent of COVID science changed research publishing – in seven charts. *Nature*. 2020 Dic 16; 588: 553.
7. Torres-Salinas D. Ritmo de crecimiento diario de la producción científica sobre Covid-19. *Análisis en bases de datos y repositorios en acceso abierto. Prof Inform.* 2020; 29(2): e290215.
8. Pokhrel S, Chhetri R. A literature review on impact of COVID-19 pandemic on teaching and learning. *High Educ Future*. 2021 Ene 19; 8(1): 133-41.
9. Sá MJ, Serpa S. The COVID-19 pandemic as an opportunity to foster the sustainable development of teaching in higher education. *Sustainability*. 2020 Oct 15; 12(20): 8525.
10. Illes M, Wilson P, Bruce C. Forensic epistemology: a need for research and pedagogy. *Forensic Sci Int: Synerg*. 2020; 2: 51-9.
11. Garnett BL, Gardner BO, Murphy E, Grimes P. Judges and forensic science education: a national survey. *Forensic Sci Int*. 2021 Abr; 321: 110714.
12. Shukla RK. A new systematic approach of teaching and learning of forensic science for interdisciplinary students: a step toward renovating the forensic education system. *Forensic Sci Int: Synerg*. 2021; 3:100146.
13. Cattaneo C. Forensic medicine in the time of COVID 19: an editorial from Milano, Italy. *Forensic Sci Int*. 2020 Jul; 312: 110308.
14. InnoGenomics. Forensic science in the time of COVID-19: continuing education and conferences. *InnoGenomics*; 2020 Ago 12.
15. Kochis N. How COVID has transformed the landscape of forensic science education. *J Forensic Sci Educ*. 2020 Dic 4; 2(2).
16. Thompson TJ, Earwaker H, Horsman G, Nakhaeizadeh S. Forensic undergraduate education during and after the COVID-19 imposed lockdown: strategies and reflections from India and the UK. *Forensic Sci Int*. 2020; 316: 110500.
17. Brundage A, Elkins KM, Quarino L. Scholarship in times of crisis. *J Forensic Sci Educ*. 2020 Dic 4; 2(2).
18. Robertson J, Roux C. The forensic scientist of the future – are universities prepared? *Aust J Forensic Sci*. 2018 Jun 1; 50(4): 305-6.
19. Roux, C, Bucht R, Crispino F, De Forest P, Lennard C, Margot P, et al. The Sydney Declaration – revisiting the essence of forensic science through its fundamental principles. *Forensic Sci Int. De próxima aparición* 2022 Ene 11; 111182.
20. Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Plan de Estudios de la Licenciatura en Ciencia Forense. Vol. 1. México D.F. (MX): Universidad Nacional Autónoma de México; 2013. 100 p.
21. van Dijk JAGM. Closing the digital divide: the role of digital technologies in social development, well-being of all and approach of the Covid-19 pandemic. En: Virtual Expert Group UN Meeting on “Socially Just Transition towards Sustainable Development: The Role of Digital Technologies in Social Development and Well-Being for All”; 2020 Ago 4-7; Nueva York (US). United Nations; 2020.
22. Brunelli E, Macirella R. Exploring the critical points of teaching STEM subjects in the time of COVID 19: the experience of the course “Microscopy Techniques for Forensic Biology”. *F1000Res*. 2021 Feb 10; 10: 89.
23. Elkins KM, Zeller CB. Approaches for teaching forensic body fluids analysis for remote learning. *J Forensic Sci Educ*. 2021 May 28; 3(1).
24. Händel M, Stephan M, Gläser-Zikuda M, Kopp B, Bedenlier S, Ziegler A. Digital readiness and its effects on higher education students’ socio-emotional perceptions in the context of the COVID-19 pandemic. *J Research Technol Educ*. 2020 Nov 30.
25. Sosa Reyes AM, Romo-Guadarrama G, García Castillo Z, López Zepeda JL, Farfán Sánchez R, Suzuri Hernández LJ. Perfil del estudiantado de la Licenciatura en Ciencia Forense, del ingreso a la titulación. De próxima aparición.
26. Shim TE, Lee SY. College students’ experience of emergency remote teaching due to COVID-19. *Child Youth Serv Review*. 2020 Dic; (119):195578. doi: 10.1016/j.childyouth.2020.105578
27. LaRosa J, Doran C, Gurth A, Varshney K, Anaele B, Davis K, et al. Life during COVID-19: the student experience. *Pedagogy Health Promot*. 2021 Jun 02; 1-8.
28. Birmingham WC, Wadsworth LL, Lassetter JH, Graff TC, Lauren E, Hung M. COVID-19 lockdown: impact on college students’ lives. *J Am Coll Health*. 2021 Jul 22; 1-15.
29. Intrabartola L. The evidence is in: there are benefits to teaching forensic science virtually. *Rutgers Today* (US); 2020 Oct 20.
30. Lim CL, Raman VK, Gunasekaram J, Bagali PG. Virtual reality CSI – examining crime scenes in cyberspace. *South-East Asian J Med Educ*. 2021 Jul 6; 15:48.
31. Toudert D. Teoría del recurso y la apropiación: una acercamiento empírico a partir de las etapas del modelo de acceso digital en México. *Acta univ*. 2016 Ago; 26(4): 79-90.
32. Akçayır G, Akçayır M. The flipped classroom: a review of its advantages and challenges. *Comput Educ*. 2018; 126: 334-45.
33. Londino-Smolar G. Remotely teaching a large enrollment introduction to forensic science course. *J Forensic Sci Educ*. 2020 Dic 4; 2(2).
34. Tran CJ, Lamar MF. Fostering small group discussion in an online instrumental analysis course using Google Docs. *J Forensic Sci Educ*. 2020 Dic 4; 2(2).
35. Cannon CC, Greenspoon SA, Simmons T. Crafting an effective virtual classroom in the COVID-19. *J Forensic Sci Educ*. 2021 Abr 12; 2(2).
36. Nilson LB, Goodson LA. *Online Teaching At Its Best: Merging Instructional Design with Teaching and Learning Research*. San Francisco (US): Jossey-Bass; 2018. 264 p.
37. Jones S, Thrasher RR, Miller BB, Hess JD, Wagner J. A review of existing forensic laboratory education research and needs assessment. *J Forensic Sci Educ*. 2021 May 28; 3(1).
38. Kader SN, Ng WB, Tan SW, Fung FM. Building an interactive immersive virtual reality crime scene for future chemists to learn forensic science chemistry. *J Chem Educ*. 2020; 97(9): 2651-6.
39. De la Peña N. *One dark night [archivo de video RV 360°]*. De la Peña N, directora. Los Angeles (US): Emblematic Group; 2015.
40. Ebert LC, Nguyen TT, Braun M, Thali MJ, Ross S. The forensic holodeck: an immersive display for forensic crime scene reconstructions. *Forensic Sci Med Pathol*. 2014; 10(4): 623-6.
41. Díaz Gandasegui V. Entornos virtuales para el desarrollo de la educación inclusiva: una mirada hacia el futuro desde el pasado de Second Life. *RELATEC*. 2013; 12(2): 67-77.

42. Escudero C, Monterroso E, Landeta A. Udimá. INNOVALab: simulación de un juicio en el campus virtual de Second Life. RELADA. 2010; 4(2): 122-6.
43. Monterroso Casado E, Escutia Romero R. Educación inmersiva: enseñanza práctica del derecho en 3D. ICONO14. 2011; 9(2): 84-100.
44. Martín Ramallal P, Merchán Murillo A. Realidad virtual en la recreación de escenas de crimen como complemento formativo en los estudios de derecho criminalístico (en tiempos de Covid-19). Un estado del arte. En: Rodríguez-Garay GO, Álvarez-Chávez MP, Husted Ramos S, editores. Comunicación, educación y juventud: nuevas formas de aprender y enseñar en la era digital. Sevilla (ES): Ediciones Egregius; 2020. p. 99-124.
45. Mayne R, Green H. Virtual reality for teaching and learning in crime scene investigation. Sci Justice. 2020; 60(5): 466-72.
46. Hassenfeldt C, Jacques J, Baggili I. Exploring the learning efficacy of digital forensics concepts and bagging & tagging of digital devices in immersive virtual reality. Forensic Sci Int: Digit Investig. 2020 Jul; 33 Suppl: 301011.
47. Londino-Smolar G. Let's solve it: designing an interactive online forensic science lab. J High Educ Theory Pract. 2021; 21(2): 73-88.
48. Bassindale TA, LeSuer R, Smith DP. Perceptions of a program approach to virtual laboratory provision for analytical and bionalytical sciences. J Forensic Sci Educ. 2021 May 28; 3(1).
49. Potkonjak V, Gardner M, Callaghan V, Mattila P, Guel C, Petrović VM, et al. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: a review. Comput Educ. 2016; 95: 309-27.
50. Nadler R. Understanding "Zoom fatigue": theorizing spatial dynamics as third skins in computer-mediated communication. Comput Compos. 2020; 58: 10263.
51. Tidy H, Parker I. A break from the Zoom – using a students home environment to teach forensic science interpretation during the Covid-19 pandemic. J Forensic Sci Educ. 2021 May 28; 3(1).
52. Chmiel R. Cyber forensics students experience innovative virtual immersion. University of New Haven (US) – The Charger Blog; 2020 Oct 6.
53. Knivsberg IC, Kopperud SE, Bjørk M-B, Torgersen G, Skramstad K, Kvaal SI. Digitalised exercise material in forensic odontology. Int J Leg Med. 2021 Nov 20.
54. Jones RM. Online teaching of forensic medicine and pathology during the COVID-19 pandemic: a course evaluation. J Forensic Leg Med. 2021 Oct; 83: 102229.
55. Tóth D, Petrus K, Heckmann V, Simon G, Poór VS. Application of photogrammetry in forensic pathology education of medical students in response to COVID-19. J Forensic Sci. 2021; 66(4): 1533-7.
56. Baranski J, Davalos-Romero K, Blum M, Burke N, Foster A, Hall A. FauxDIS: a searchable forensic DNA database to support experiential learning. J Forensic Sci Educ. 2020 Jun 2; 2(1).
57. Jones K. Cómo el crimen organizado se sirve de drones para sus actividades. InSight Crime; 2020 Sep 29.
58. Swales V. Drones used in crime fly under the law's radar. The New York Times. 2019 Nov 3.
59. Miller C. Teaching digital forensics during a pandemic: present and future strategies. Forensic Focus; 2020 Nov 12.
60. The University of Newcastle (AU). Teaching criminology through COVID-19, and the future of learning in a post-pandemic world. The University of Newcastle (AU); 2020 Jun 16.
61. Derflinger B, Niedermier J, Misquita D. Use of telepsychiatry to increase resident exposure to forensic psychiatry during COVID-19. Acad Psychiatry. 2021 Abr 20; 45(5): 662-3.
62. Chohan BS, Kreuter RA, Sykes DG. Construction and characterization of an inexpensive electrostatic lifter. J Forensic Sci Educ. 2020 Nov 25; 2(1).
63. Curry College (US). Acting as forensic scientists, students gain hands-on experience in mock crime scene on campus. Curry College | News & Events; 2021.
64. Jones RM. Online teaching of forensic medicine and pathology during the COVID-19 pandemic: a course evaluation. J Forensic Leg Med. 2021; 83:102229.
65. Sheelavant S. Google Classroom – an effective tool for online teaching and learning in this COVID era. Indian J Forensic Med Toxicol. 2020 Oct-Dic; 14(4): 494-500. Lohi RR, Dhahikar N, Ambad R, Chandhi DH. Online teaching in the time of Covid 19 – effectiveness and challenges. Indian J Forensic Med Toxicol. 2020 Oct-Dic; 14(4): 6841-4.
66. Fernández-García P, Vallejo-Seco G, Livacic-Rojas PE, Tuero-Herrero E. Validez estructurada para una investigación cuasi-experimentalde calidad. Se cumplen 50 años de la presentación en sociedad de los diseños cuasi-experimentales. An Psicol. 2014; 30(2): 756-71.
67. Heng ZS-L, Koh DW-S, Yeo JY, Ooi C-P, Gan SK-E. Effects of different delivery modes on teaching biomedical science practical skills in higher education during the 2021 pandemic measures. Biochem Mol Biol Educ. 2022;50(4): 403-13.
68. Sun H-L, Sun T, Sha F-Y, Gu X-Y, Hou X-R, Zhu F-Y, Fang P-T. The influence of teacher-student interaction on the effects of online learning: based on a serial mediating model. Front Psychol. 2022; 13: 779217.
69. Vagos P, Carvalhais L. Online versus classroom teaching: impact on teacher and student relationship quality and quality of life. Front Psychol. 2022;13: 828774.
70. Barramuño Pérez P, Salvo de Oliveira B, Yañez Orellana V. La relación entre educador-educando en el contexto de la virtualidad educativa COVID-19: afectos y prácticas pedagógicas desde una perspectiva feminista. Rev Educ Américas. 2020; 10(2).
71. Bird KA, Castleman BL, Lohner G. Negative impacts from the shift to online learning during the COVID-19 crisis: evidence from a statewide community college system (EdWorkingPaper: 20-299) . Providence, RI (US): Annenberg Institute, Brown University; 2022. 59 p.
72. Lumpkin, A. Teachers as role models teaching character and moral virtues. J Phys Educ Recreat Dance. 2008; 79(2): 45-50.
73. Kalmar E, Aarts T, Bosman E, Ford C, de Kluijver L, Beets J, Veldkamp L, Timmers P, Besseling D, Koopman J, Fan C, Berrevoets E, Trotsenburg M, Maton L, van Remundt J, Sari E, Omar L-W, Beinema E, Winkel R, van der Sanden M. The COVID-19 paradox of online collaborative education: when you cannot physically meet, you need more social interactions. Heliyon. 2022; 8(1): e08823.
74. Scott JC. The mission of the university: medieval to postmodern transformations. J High Educ. 2006 Nov 1; 77(1): 1-39.
75. Jessop T. Let's lose the deficit language about online education. WONKHE. 2020 Jun 3.
76. Gamage KAA, Wijesuriya DI, Ekanayake SY, Rennie AEW, Lambert CG, Gunawardhana N. Online delivery of teaching and laboratory practices: continuity of university programmes during COVID-19 pandemic. Educ Sci. 2020 Oct 19; 10(291).
77. Heckman JJ, Kautz T. Hard evidence on soft skills. Labour Econ. 2012 Ago; 19(4): 451-64.
78. Sonbuchner TM, Mundorff EC, Lee J, Wei S, Novick PA. Triage and recovery of STEM laboratory skills. J Microbiol Biol Educ; 2021 Mar; 22(2): ev2211.2565.
79. Daniel SJ. Education and the COVID-19 pandemic. Prospects. 2020 Abr 20; 49: 91-6.
80. Arnaud CH. Questioning the value of general chemistry labs. Chemical and Engineering News; 2020 May 10.
81. Bretz SL. Evidence for the importance of laboratory courses. J Chem Ed. 2019 Feb 12; 96(2): 193-5.
82. Suzuri Hernández LJ, Espinosa Escobar LA, Sosa Reyes AM, López Zepeda JL, Villavicencio Queijeiro A. Covid-19 school disruptions as drivers of curriculum change in the forensic science organic chemistry laboratory. Educ Química. 2020; 31(5): 3-14.
83. Knox Innovation Opportunity & Sustainability Centre (AU). Online – forensic science: crack the COVID case. KIOSC; 2019.
84. Roux C, Weyermann C. Can forensic science learn from the Covid-19 crisis? Forensic Sci Int. 2020 Nov; 316: 110503.
85. Goldstein JZ, Alesbury HS. Self-reported levels of occupational stress and wellness in forensic practitioners: implications for the education and training of the forensic workforce. J Forensic Sci. 2020; 66: 1307-15.
86. Gilbert GL. Commentary: SARS, MERS, COVID-19 – new threats, old lessons. Int J Epidemiol. 2020; 49(3): 726-8.



87. Perlman S. Another decade, another coronavirus. *N Engl J Med.* 2020 Ene 24; 282(8): 760-762.
88. Zaid G. Futuro de la universidad. *Reforma.* 2014 Sep 28.
89. Maynard M. What's right with schools: forensic science teacher in Woodstock making experiential learning work for COVID times. *News 8;* 2021 Ene 5.

---

### *Nota al pie*

<sup>1</sup>Una breve aclaración sobre la terminología empleada: existe una enorme variedad de ciencias, disciplinas o especializaciones forenses, tales como la medicina legal o forense, la genética forense, la dactiloscopia, la antropología forense, la toxicología, la balística, la criminología y un larguísimo etcétera. Cada una puede ser requerida por separado por los sistemas de justicia para resolver alguna controversia. No obstante, existen faltas o delitos que, por su complejidad, no pueden esclarecerse recurriendo solamente a una de estas ciencias, requiriéndose entonces del concurso de varias: cuando este es el caso, hablamos de una ciencia forense que trasciende a las disciplinas que la integran. Bajo esta concepción, la criminalística formaría parte de la ciencia forense. A menos que se indique lo contrario, el uso del singular —“ciencia forense”— remitirá a aquellas investigaciones científicas que reúnen a dos o más disciplinas forenses.



ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN  
REALIZADOS POR ESTUDIANTES

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR ESTUDIANTES

# Psicología del testimonio: una necesidad para infancias y adolescencias mexicanas

Hernández Vargas Bárbara Guadalupe<sup>1,2</sup> ✉

<sup>1</sup> Facultad de Medicina, Licenciatura en Ciencia Forense, Servicio Social.

<sup>2</sup> Psicóloga egresada de la Licenciatura en Psicología, UNAM.

✉ barbara.hdz.psi@gmail.com

## Datos del artículo

Cita: Hernández Vargas Bárbara Guadalupe. 2022. Psicología del testimonio: una necesidad para infancias y adolescencias mexicanas. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(2): 66-83 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sanchez.

Recibido: 28 octubre 2021.

Aceptado: 10 octubre 2022.

Publicado: 28 octubre 2022.

## Resumen

El presente artículo consta de una revisión teórica que pretende generar una reflexión sobre la forma de obtener testimonios en el sistema de justicia mexicano, donde las víctimas son niñas, niños y adolescentes (NNA), principalmente en casos de abuso sexual infantil, resaltando la importancia de la psicología del testimonio a lo largo del proceso penal. Se considera los marcos normativos nacional e internacional, así como características relevantes de NNA que intervengan en la recopilación de testimonios y se sugieren algunos aspectos relevantes para una correcta praxis en el ejercicio profesional de la psicología del testimonio para mejorar el acceso a la justicia de infancias y adolescencias en México.

**Palabras clave:** sistema jurídico mexicano, niños, niñas y adolescentes, abuso sexual infantil, psicología del testimonio, testimonio.

## Abstract

This paper is a theoretical review that intends to foster reflection on the way minor victim's testimonials are gathered, mainly in cases of child sexual abuse, highlighting the testimony psychology along the criminal proceedings. The national and international normative frameworks are considered as well as relevant features of the minors that take part in the gathering of the testimony, and some important aspects for the right praxis are offered, so minors can have a better access to justice in Mexico.

**Keywords:** mexican legal system, children and adolescents, child sexual abuse, psychology of testimony, testimony.

## Introducción

Los derechos humanos de niñas, niños y adolescentes (NNA) han tenido avances importantes, sin embargo, siguen permeando algunos factores que dificultan el ejercicio de los mismos y su desarrollo pleno. NNA representan una parte considerable de la población mexicana, con realidades y experiencias diversas dependiendo de factores como zona geográfica, situaciones de violencia, contexto socioeconómico, género, entre otras; lo que ocasiona un ejercicio distinto de sus derechos (1).

Cabe cuestionarse quién o quiénes protegen y velan para que estos factores se atenúen y los NNA tengan una vida plena. Las infancias y adolescencias han sido cada vez más visibilizadas, siendo abordadas desde distintos enfoques que van abriendo camino. Sin embargo, un problema actual es el que en los marcos normativos aún se les consideran como sujetos de protección y no como sujetos de derechos (2), limitando su desarrollo y comprometiendo los resultados de los distintos procesos legales donde pueden participar como víctimas o testigos.

Una de las principales formas de violencia que ocurren contra NNA, es el abuso sexual, teniendo lugar en contextos donde se esperaría su protección, como lo es la familia y la escuela. Resulta un delito que tiene gran complejidad, pues la denuncia y la pronta atención puede ser en algunos casos imposible por los ámbitos donde se ejerce, así como por las características de NNA(2), aunado a la mala implementación de los protocolos de actuación y el marco normativo o incluso la nula existencia de este, así como una escasa capacitación de las personas profesionales que tienen participación en la investigación de los delitos de esta naturaleza.

El objetivo del presente artículo es abordar la importancia de la psicología del testimonio en el sistema penal mexicano, principalmente en los delitos relacionados con infancias y adolescencias, considerando los principios básicos que la psicología ofrece, siendo necesario vislumbrar y posicionar la situación del marco jurídico mexicano y comprender el desarrollo de NNA, así como sus distintas características, para poder tener una mayor aproximación a la labor y contribución de la psicología del testimonio en México.

### *Sistema de justicia penal mexicano y su reforma*

El Sistema Penal tradicional mexicano llevaba más de 100 años operando, tenía como características el ser un procedimiento escrito y frecuentemente secreto, con escasa participación de las personas víctimas del delito, quienes contaban con pocas acciones para su atención y protección, resultando en una experiencia deficiente para la sociedad mexicana en el ámbito de la justicia, siendo necesaria una reforma que permitiera una mejora en la administración de justicia (3).

El 16 de junio de 2008 se aprobó la reforma que modificaría el modo en cómo se venían efectuando los procesos judiciales, misma que entraría en vigor en el 2016, dando un espacio de ocho años para su aplicación en todo el territorio nacional. Se buscaba pasar de un sistema inquisitivo a uno acusatorio, que es más característico de una democracia (4). Este nuevo modelo de justicia penal tiene como objetivo guiarse bajo los principales postulados sobre derechos humanos y con el contenido de los distintos tratados internacionales que México ha firmado (3).

Algunas de las características de este nuevo sistema procesal son: respetar los derechos humanos de la persona acusada, de la víctima y terceros, hacer valer la presunción de inocencia, reconocer el derecho a la reparación, distinguir a las y los autores que se involucran en el proceso, así como sus respectivos roles: juez, acusado(a) y víctima; exigiendo al primero proceder con imparcialidad (4). Además, la resolución del conflicto se realiza de manera oral y pública (5). Esto sin duda representa un gran cambio en México, dignificando los distintos procesos de justicia que atraviesan las personas, modificando al sistema y no a las personas, revisando realidades y vidas personales, no hojas de expedientes y dando importancia al testimonio y no al papel.

De todos los artículos reformados, el artículo 20 es el que mayormente se relaciona con el tema de interés del presente trabajo: la psicología del testimonio. Los puntos relevantes del artículo 20 constitucional se resumen en los siguientes aspectos: un proceso penal acusatorio y oral con principios de publicidad, contradicción, concentración, continuidad e inmediación; juicios con presencia de un juez; la determinación de que sin sentencia emitida por un juez existe presunción de inocencia y el deber del Ministerio Público de garantizar la protección de todas las personas implicadas en el proceso (6).

Aunado a la reforma al sistema de justicia penal, en marzo de 2014 se publicó el Código Nacional de Procedimientos Penales, el cual postula las normas que conducirán la investigación, el procedimiento y la sanción de los delitos en territorio mexicano, todo bajo las directrices de los derechos humanos reconocidos en la Constitución (6).

Se contemplan distintas etapas del Procedimiento Penal marcado en el Código Nacional de Procedimientos Penales entre las que se encuentra la investigación inicial, querrela o algún otro requisito equivalente, continuando con la investigación complementaria, seguida de la etapa intermedia o de preparación del juicio, llegando finalmente a la etapa del juicio (6).

Otra consideración importante es la novedad del Código Nacional de Procedimiento Penales, donde se habla de la posibilidad de registrar en escrito, audio, videograbación o de cualquier forma las actuaciones durante todo el proceso, para garantizar su posterior reproducción (6). Esto resulta una contribución fundamental, especialmente para la participación de NNA en procesos penales, ya sea en calidad de víctimas o testigos, contribuyendo a la no revictimización.

## *Niños, niñas y adolescentes en México*

### Antecedentes

La concepción de la infancia y adolescencia ha pasado por distintas etapas y fases a lo largo de la historia, siendo la primera la visión indiferenciada donde no se reconocía a NNA como personas distintas de las personas adultas ni se tenía un trato específico para ellas, resultando en una exclusión e invisibilidad sistemática. Otro momento en la concepción de la infancia fue la visión tutelar, en la cual ya se reconocían las diferencias entre NNA y personas adultas, sin embargo, se les consideraba como objetos de propiedad de la familia y el estado. Finalmente se llega a la visión de derechos o enfoque garantista en la que ya se contempla a NNA como personas sujetas de sus derechos, dando reconocimiento a sus derechos fundamentales y derechos específicos, haciéndoles acreedoras a protección especial, siendo definidas como personas en desarrollo, protagonistas y con derechos a la opinión y participación ciudadana (2).

### Marco normativo: internacional y nacional

El artículo 1° de la Convención sobre los Derechos del Niño (CDN) considera como niño a “todo ser humano menos de 18 años, salvo que, en virtud de la ley que sea aplicable haya alcanzado antes la mayoría de edad” (7). Esto es funcional como un rango para poder actuar bajo los distintos tratados nacionales e internacionales.

Al hablar de NNA, es importante también abordar aquellos tratados y convenios internacionales y nacionales que se han desarrollado a lo largo de la historia para poder llegar actualmente al enfoque de derechos o garantista.

### Marco normativo: internacional

El primer tratado internacional a considerar es la Declaración Universal de los Derechos Humanos (1948), a partir del cual se derivan los derechos fundamentales de todas las personas, incluyendo a NNA. En 1989, se lleva a cabo la Asamblea General de la ONU, donde tiene lugar la Convención sobre los Derechos del Niño, constituyéndose como el primer instrumento internacional que concibe a NNA como personas sujetas de derecho. Esta Convención se rige por cuatro principios fundamentales; i) no discriminación, ii) interés superior de la niñez, iii) vida y supervivencia, iv) participación infantil, siendo considerado recientemente el v) enfoque de género (8).

México ha ratificado ambos instrumentos; en 1948 la Declaración Universal de Derechos Humanos y en 1990 la Convención sobre los Derechos del Niño, lo que quiere decir que se asume como Estado parte, comprometiéndose y teniendo la obligación de asegurar y proteger los derechos de las personas y particularmente de la infancia.

Existen diversos tratados internacionales en favor de la protección de la niñez que se fueron desarrollando gradualmente y de los que México forma

parte, en su gran mayoría; sin embargo, los mencionados anteriormente son los que mayor peso tienen en la creación del marco normativo nacional.

#### Marco normativo: nacional

Según la Ley General de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes y la Ley de Asistencia Social marcan que la niñez abarca hasta los 12 años, mientras que la adolescencia va desde los 12 años hasta los 18 años (9).

Como país, México lleva una trayectoria amplia en la creación e implementación del marco jurídico de protección de derechos de la infancia y adolescencia (10). Cuenta con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM, 1917) y los tratados internacionales que México ha ratificado anteriormente; además de las leyes generales, federales y locales que se promulguen en el territorio nacional, velando por el cumplimiento y protección de los derechos de todas las personas. En la CPEUM (1917), se reconoce a la infancia y adolescencia en los artículos 1°, 2°, 3°, 4°, 18° y 123°.

Un precedente importante en el marco normativo nacional de los derechos de NNA es la reforma del artículo 4° constitucional en 2011, donde se reafirma que NNA son sujetas y sujetos de derechos y el Estado tiene la obligación de atender el interés superior de la niñez en todas sus decisiones y actuaciones, garantizando así la plenitud de sus derechos. Esta reforma abrió la posibilidad de discutir y aprobar la Ley General de los Derechos de Niños, Niñas y Adolescentes (9), ley que no solo tiene que ser acatada, sino que establece la creación de un sistema de protección integral; coordinando instituciones, servicios y programas, acciones y recursos para garantizar y proteger los derechos de NNA (1).

La Ley General de Derechos de Niños, Niñas y Adolescentes (LGDNNA, 2014), persigue el cumplimiento de sus derechos de forma integral, alineándose con la Convención sobre los Derechos del Niño (CDN), partiendo del reconocimiento de NNA como personas sujetas de derechos, en proceso de desarrollo, siendo necesario establecer protección especial de la cual es responsable la familia, la sociedad y el Estado, con la finalidad de brindar un acceso adecuado a sus derechos (1).

Cabe destacar que, previamente se hizo mención sobre los principios rectores bajo los que se rige la Convención sobre los Derechos del Niño (CDN) y a su vez la Ley General de Derechos de Niños, Niñas y Adolescentes (LGDNNA, 2014), sin embargo, para fines de este trabajo se hará una breve descripción del principio de interés superior de NNA y del principio de participación y derecho a ser escuchado, para la mejor comprensión de la aplicación de sus derechos y de las obligaciones del Estado.

El principio de interés superior de NNA establece que todas las medidas que tengan relación con NNA a cargo de instituciones públicas o privadas, autoridades administrativas, órganos legislativos, padres, madres o tutores deben estar encaminadas al cumplimiento y protección de los derechos de NNA



de forma integral (8). Esto quiere decir que, en una situación que implique NNA, las medidas y decisiones deben procurar y proteger no solo uno de los derechos que sean vulnerados, sino todos en general, así como tener en cuenta todos los principios rectores de los que habla la CDN y se retoman en la LGDNNA.

Por otro lado, el principio de participación y derecho a ser oído hace referencia a garantizar que NNA tengan condiciones necesarias para hacerse de un juicio y poder expresar su opinión libremente en asuntos que les afecten, tomando en cuenta su opinión, en función de la edad y madurez de NNA (8). Con este principio, se establece una relación con los procesos judiciales o administrativos que afecten a NNA, donde deben tener la oportunidad de ser escuchadas (os). Además, refleja la urgencia de establecer y tomar en cuenta las distinciones entre personas adultas y NNA, para así optar y emplear las medidas especiales que garanticen su plena participación.

### El desarrollo de niñas, niños y adolescentes

No solo tiene relevancia considerar el marco normativo de NNA, sino que también es imprescindible abordar las particularidades de su desarrollo para poder ejecutar dicho marco de forma plena.

Al hablar de desarrollo no solo se debe considerar la esfera biológica, pues las personas tienen interacciones entre lo biológico, social y psicológico de forma indisoluble (11). Existen diversas concepciones de desarrollo, no obstante, resulta de mayor utilidad visualizarlo desde una perspectiva multidimensional.

El desarrollo multidimensional resulta ser un proceso complejo, donde interfieren distintas áreas como el desarrollo físico, cognitivo, emocional y social, que, al estar en constante interacción, no pueden ser separadas para dar cuenta sobre el comportamiento (12). A continuación se describirá brevemente cada una de ellas:

- Desarrollo físico: son las bases genéticas, el crecimiento físico de todos los componentes del cuerpo, los cambios en el desarrollo motor, los sentidos y los sistemas corporales.
- Desarrollo cognitivo: implica los cambios en los procesos intelectuales del pensamiento, el aprendizaje, el recuerdo, los juicios, la solución de problemas, el lenguaje y la comunicación; en los cuales influyen las variables hereditarias y la interacción con el medio ambiente.
- Desarrollo emocional y psicoactivo: contempla el desarrollo de apego, la confianza, la seguridad, el afecto y las emociones, el concepto de sí misma(o) y el grado de autonomía.
- Desarrollo social: este hace referencia a aspectos morales, adaptativos, interrelacionales y vinculares.

Así, definir todas estas esferas del desarrollo ayuda a la comprensión de los distintos ámbitos donde tienen que cumplirse y protegerse los distintos derechos y principios contenidos en las convenciones y leyes mencionadas anteriormente.

Para poder realizar una adecuada toma de decisiones y acciones pertinentes en relación con NNA, además de tener en cuenta el marco normativo es imperativo contemplar las distintas etapas que atraviesan, ya que darán una guía de los procesos y momentos en los que se encuentran. A continuación, se describirán brevemente (1):

- **Primera infancia:** comprende desde el nacimiento hasta los cinco años. Es en esta etapa que se construyen las bases para el desarrollo cognitivo, emocional y social de NNA que tendrá un gran impacto en las etapas siguientes. Las experiencias con las personas adultas intervienen en el desarrollo cerebral. Se destaca que, dentro de estos años de vida, NNA deben recibir una atención integral, que permitirá un óptimo desarrollo en todas sus esferas.

De igual forma, es la etapa en la que comienza la vida escolar, a partir de la exploración y el juego, a través de los cuales NNA van dotándose de las bases para las capacidades y habilidades que le acompañarán en su desempeño escolar.

- **Edad escolar:** comprende de los 6 a los 11 años, donde adquieren experiencias y conocimientos esenciales para la adolescencia. Durante esta etapa, se da la consolidación del desarrollo físico, intelectual y emocional que se inició en la primera infancia. El crecimiento físico será menor, abundando el crecimiento en habilidades atléticas, motricidad, y fuerza física.

Hasta los 6 años se alcanza un desarrollo cognitivo reflejado en el lenguaje, la lógica y la memoria, que le permite razonar y adquirir conocimientos para seguir avanzando en su educación.

La habilidad de interrelación también es intensificada, siendo la escuela el principal escenario donde se desarrolla, a partir del contacto y convivencia con otras personas; niños y niñas refuerzan su capacidad de expresión y sociabilidad. Igualmente, otro escenario influyente es el hogar, donde la convivencia y contacto con su familia, más las experiencias en la escuela, impactan en la construcción de su identidad, autoestima y personalidad. El afecto, la estima, el cariño y el apoyo que encuentre en su hogar, serán fundamentales para su desarrollo escolar e integral.

- **Adolescencia:** abarca de los 12 a los 17 años, en los cuales tiene lugar una maduración física, emocional y cognitiva en las personas. Se continúa con el desarrollo de la identidad, la personalidad, los intereses, las capacidades y las habilidades necesarias para establecer

relaciones e iniciarse posteriormente en la vida adulta, como lo son el razonamiento abstracto y crítico.

Durante los primeros años de la adolescencia (11 y 12 años) se experimentan cambios físicos como el crecimiento y desarrollo de órganos sexuales y la sexualidad. Para los últimos años de la adolescencia, el crecimiento físico continúa, aunque de forma más lenta, dando lugar a cambios internos como el pensamiento analítico y reflexivo.

Por otro lado, esta etapa se caracteriza por oportunidades y se busca el pleno ejercicio de sus derechos, al acceso a las tecnologías y los medios de comunicación y participación, abriéndose paso en sociedad.

### Características particulares de NNA

Además de hacer un recorrido por las distintas etapas de desarrollo de NNA es esencial mencionar algunas características relevantes que imperan en estos años de vida. Ciertamente, no es el objetivo de este trabajo, sin embargo, resulta de gran importancia esclarecer y tener en cuenta estas particularidades al hablar de asuntos jurídicos en NNA, ya que el desconocimiento de estas características puede ocasionar una mala praxis (13):

- Características cognitivas:

En los primeros años de vida el conocimiento proviene de experiencias directas, concretándose por ensayo y error. Los sentidos son la principal fuente de obtención de información.

Como ya se mencionó anteriormente, existen distintas etapas que atraviesan NNA, sin embargo, comparten algunas similitudes.

En el caso de niños y niñas, poseen un pensamiento concreto, que resulta en la imposibilidad de realizar abstracciones y manejar mentalmente variables abstractas. Su razonamiento y deducción depende de la realidad que experimentan, lo concreto y sus propias experiencias. Suele partir de sí misma(o) o de la realidad de eventos externos vinculados con eventos subjetivos para procesar la información. El centro de referencia siempre es ella o él mismo, siendo las propias experiencias las que constituyen su realidad. Esto es lo que se conoce como el pensamiento egocéntrico característico de NNA.

Otro aspecto cognitivo es el pensamiento intuitivo, sacando conclusiones de las variables concretas y objetivas sin preguntarse si es correcta o no. Lo percibido tiene más peso que lo que razona.

En su bagaje tampoco se incluyen las nociones de tiempo y espacio, son términos abstractos y convencionales que solo pueden entenderse contando con capacidad abstracta con la que cuentan las personas adultas.

Las y los adolescentes son quienes podrían estar más cerca del pensamiento abstracto y reflexivo; sin embargo, hay que resaltar que situaciones de angustia y victimización son complejas de manejar. Lo anterior se refiere a que, aunque ya “hablen como personas adultas”, sus habilidades son vulnerables, existe confusión e imperan las emociones con gran fuerza.

Existen otras nociones respecto a la memoria, atención, concentración, entre otras, que serán abordadas más adelante.

- **Características emocionales:**

Estas características parten de la dependencia que tienen NNA, la mayor parte de la infancia, a las personas adultas, ocasionando una reacción con sensación de vulnerabilidad ante situaciones de angustia o estrés.

Regularmente, interpretan fácilmente situaciones como amenazantes, al grado de no poder controlarlas emocionalmente, debido a que, por maduración, aún no cuenta con las herramientas necesarias para poder hacerlo, sintiéndose con frustración, temor e indefensión. Es importante destacar estas reacciones emocionales e incluso conductuales que puedan presentar NNA para tener cuidado con las interpretaciones que se les den sin tener en cuenta sus propias características de desarrollo.

Las emociones suelen estar por arriba de la razón, debido a que no cuentan con estrategias cognitivas para hacer frente a situaciones angustiantes. Sin embargo, aunque imperen las emociones por encima de la razón y cuenten con todas las emociones que cualquier persona, poco a poco comienzan a conocerlas, comprenderlas y manejarlas.

Algunas de las emociones presentes en NNA son: el temor ante lo desconocido; la inhibición extrema o desenfado extremo, apareciendo de forma abrupta; ansiedad ante la aprobación de las personas adultas, entre otras.

- **Características morales:**

En la infancia se piensa que las reglas existen, no pueden cambiarse y la conducta es buena o mala dependiendo si se recibe o no un castigo. Tienen un respeto por la autoridad adulta que no se cuestiona, dando importancia a obedecer y evitar el castigo, considerando la opinión adulta como correcta.

Poco a poco comienzan a elaborar su moral basándose en sus intereses y convicciones, posteriormente se basarán en la aceptación de las otras personas, expectativas de quienes les rodean y el agrado a las personas. Es decir, con frecuencia pueden dar respuestas dependiendo de quién les pregunte para decir lo que quieren escuchar, en función de la complacencia.

Igualmente que en el apartado anterior, podría entenderse que él o la adolescente cuenta con habilidades cognitivas que hace que sus características morales sean como las de las personas adultas o afines, no obstante es igual o más vulnerable al estar en una etapa donde la inseguridad sobre su identidad es constante y buscan la aprobación de las personas adultas o pares. Así mismo, se recuerda que sus habilidades cognitivas pueden verse severamente afectadas con sus emociones.

Una vez teniendo todo este contexto sobre el desarrollo y características de NNA, es posible adentrarse a la participación de la psicología del testimonio en asuntos legales.

### *Aplicación de la psicología del testimonio*

Por varios años, el estudio del testimonio ha ocasionado gran interés, llevando a consolidar lo que hoy se conoce como la psicología del testimonio, una subespecialidad de la psicología jurídica con aplicación en la psicología forense (otra rama de la psicología jurídica, 14).

Distintos autores han aportado a esta ciencia, coincidiendo en que se encarga de estudiar el testimonio y los factores que pueden mediar su exactitud, considerando el funcionamiento de los procesos superiores como la memoria, la atención y la percepción, y la forma en que influyen en él (14); así como también, hace énfasis en los distintos factores que pueden intervenir en cada caso particular. Engloba tres aspectos: el relato de las personas, cómo se relaciona el relato con lo ocurrido y el papel de la memoria; elementos que se encuentran en una constante interacción (15).

Para poder comprender mejor de qué se encarga la psicología del testimonio, es importante definir aquello que estudia, es decir, lo que se entiende por testimonio. Sobral (citado en 16) lo plantea como aquella información sobre un acontecimiento o hecho que es aportada por una persona que lo ha presenciado (16). Se trata de la declaración que versa sobre los hechos y la identificación de los autores, con el objetivo de obtener una descripción de lo sucedido y las personas implicadas, involucrando así procesos atencionales, perceptivos, de memoria, lenguaje y pensamiento (17). No obstante, al referirnos al testimonio, no solo se hace referencia al recuerdo o narración de una situación en particular, se trata también de un evento pasado que se quiere conocer, involucrando un contexto social determinado que ejerce gran presión (18).

Al abordar el testimonio, no deben de perderse de vista los posibles factores que lo hacen complejo y de los cuales puede depender en cualquier situación:

- a) Del modo cómo ha percibido dicho acontecimiento,
- b) Del modo cómo lo ha conservado en su memoria,
- c) Del modo cómo es capaz de evocarlo,
- d) Del modo cómo quiere expresarlo,
- e) Del modo cómo puede expresarlo.

Cada uno de estos factores depende de cuestiones particulares. El primer factor depende de condiciones externas, como el medio y de las condiciones internas, como aptitudes. El segundo factor depende enteramente de una cuestión neurofisiológica, es decir, de las condiciones orgánicas de la persona que presta el testimonio. El tercer factor es de carácter mixto, refiriéndose a un aspecto psico-orgánico, interviniendo mecanismos psíquicos que lo cargan de complejidad. El cuarto factor depende de una situación absolutamente psíquica, contemplando a la sinceridad. Y, el quinto factor hace mención al grado de fidelidad y claridad con el que la persona describe sus precisiones y representaciones, hasta lograr transmitir las a otras personas (19).

Es frecuente que las investigaciones respecto a algún hecho delictivo cuenten solamente con la declaración de la víctima o de la parte acusada como único medio de prueba disponible sobre el hecho. Derivado de esto, se ha propuesto desarrollar distintos tipos de métodos, técnicas o protocolos sistemáticos que auxilien en la diferenciación de testimoniales honestas y deshonestas (20).

La psicología del testimonio ha sido aplicada y estudiada desde hace algunos años, centrándose frecuentemente en estudios sobre codificación y recuperación del recuerdo. Sin embargo, en la actualidad se distinguen dos aplicaciones profesionales de esta ciencia: 1) en la psicología criminalística, en la utilización de técnicas de entrevista para el interrogatorio policial o reconocimiento de sospechosos y 2) en la psicología forense, facilitando la toma de declaraciones de las partes y asesorando al juzgado para mejorar la valoración de la prueba testifical (14).

Cabe destacar que lo anterior es en el mejor de los panoramas, ya que la realidad es que en México, en la práctica diaria del derecho penal, algunas personas profesionales de la abogacía que han sido capacitadas por el sistema procesal penal acusatorio-adversarial se limitan a tomar la entrevista dejando por escrito generalidades del o de la testigo; el lugar, el día y la hora en que se recaban, realizando una transcripción de lo que narra el o la testigo, con firma, huella y copia de la identificación de la persona entrevistada como de la entrevistadora (3). Esto muestra una precariedad en cuanto a capacitación y protocolos necesarios para poder ejecutar adecuadamente tanto las reformas procesales como la misma psicología del testimonio en la nación mexicana.



### Niños, niñas y adolescentes y la psicología del testimonio en México

En apartados anteriores se describieron características generales de NNA, no obstante, es preciso señalar que en México existen 40 millones de NNA, lo que representa la tercera parte de la población que vive realidades diversas (1), como formas de violencia, desigualdad, pobreza, entre otras; siendo más susceptibles a experimentar violencia en sus contextos más cercanos.

Una de las formas de violencia a la que están expuestos y expuestas NNA es a la violencia sexual, que puede realizarse en cualquier estrato social (21). La violencia sexual infantil también se nombra como abuso sexual infantil y se define como:

*“cualquier clase de contacto o actividad sexual con una persona menor de 18 años, por parte de una persona que se encuentra en una posición de poder o autoridad, con el fin de estimularse o gratificarse sexualmente, no importando que se realice con el consentimiento de la víctima, pues ésta carece de los conocimientos necesarios para evaluar sus contenidos y consecuencias. Se utiliza la relación de confianza, dependencia o autoridad que el abusador tiene sobre el niño o la niña” (2).*

Los delitos sexuales contra NNA, son una de las peores formas de violencia siendo al mismo tiempo los más difíciles de identificar, descubriéndose con frecuencia solo hasta que las víctimas relatan lo ocurrido después de transcurrido el hecho y sin testigos que lo corroboren. Esto resulta ser una problemática, pues a la vez que NNA son víctimas, también son quienes están bajo estudio para producir la evidencia que dé cuenta de lo ocurrido. Lo anterior conlleva a generar en repetidas ocasiones una profundización en el daño, generando una victimización secundaria (21).

Por esta razón, este tipo de procesos penales requiere al mismo tiempo de una protección a víctimas. En la mayoría de los países estos procesos penales se dan en compañía de distintos organismos especializados, con la finalidad de mejorar el proceso de investigación penal, así como reducir al máximo los efectos de victimización secundaria (21).

Otro aspecto que resalta la dificultad de estos casos es la complejidad probatoria, pues en la mayoría de ellos no hay evidencia física ni testigos que puedan corroborar lo sucedido. Se pueden usar los testimonios de NNA víctimas de delitos sexuales para encontrar evidencia, sin embargo, recae casi completamente todo en el relato de la víctima (21). Por eso es tan importante el uso de la psicología del testimonio, con especialización en NNA, para poder extraer la mayor cantidad de información que contribuya a la clarificación de los hechos.

Como ya se mencionó anteriormente, NNA poseen características particulares que les distingue de las personas adultas y en calidad de víctimas, lo que implica otra dificultad de aproximación forense para los diversos casos



de abuso sexual. Dentro de las características, resaltan la memoria y la atención, las cuales son distintas en cada etapa evolutiva en la que se encuentran y que resultan ser de gran interés para la psicología del testimonio y todo el proceso penal que implique a esta población en general.

### Memoria de NNA

Durante la infancia la memoria tiende a perderse o tergiversarse, siendo además indispensable vincular el recuerdo con un referente para poder evocarlo (22). La memoria va aumentando en amplitud conforme se va avanzando en edad y madurez, alcanzando un mejor funcionamiento en la edad adulta (23). Todas las personas cuentan con tres tipos de memoria que, dependiendo de la etapa de desarrollo, será su funcionamiento (23):

- Memoria inmediata: consiste en la información que permanece en la memoria durante 10 segundos. Tanto niños y niñas como personas adultas utilizan este tipo de memoria de forma equivalente.
- Memoria a corto plazo: consiste en la información que permanece en la memoria durante 30 segundos. Niños y niñas retienen menor cantidad de objetos y la velocidad con que pueden representar y evocar los objetos es menor.
- Memoria a largo plazo: consiste en la información que permanece en la memoria después de 30 segundos y puede recuperarse incluso después de un periodo de tiempo. Existen mayores diferencias en este tipo de memoria entre niños, niñas y personas adultas.

La capacidad de recordar distintos eventos depende entonces de varios factores que intervienen: cómo se codifica la información, cómo se registra y almacena la información y cómo se recupera (22).

Otro aspecto importante, es que el recuerdo es mejor cuando tenemos conocimientos que permiten relacionar ciertas situaciones y contextos, dependiendo de las experiencias previas. En este caso, las personas adultas cuentan con mayores experiencias y mayores conocimientos que les permiten recuperar más fácilmente los recuerdos (22).

Sin embargo, la memoria no es el único proceso mental que se vincula con la recuperación de la información, la atención también juega un papel fundamental y se debe tomar en consideración. Así, se suele recordar aquello que resulta significativo y agradable, pero igualmente se recuerda y queda fijado aquello que es doloroso.

Teniendo todo esto en consideración, es importante destacar algunas particularidades de la memoria de NNA:

- No pueden prestar atención a más de un aspecto importante a la vez y ellos y ellas siempre serán el centro de atención. Es decir, recordarán más fácilmente a partir de su propia persona.
- Registran y evocan aquello que esté relacionado con placer, como por ejemplo lo que aprenden mediante actividades lúdicas.
- Se les dificulta la evocación de recuerdos dolorosos. Las sensaciones desagradables tienden a reprimirlas y aún no cuenta con otros mecanismos que ayuden a recuperar esa información.

Todas las características señaladas anteriormente dan cuenta de lo complejo que resulta recuperar la información en NNA, ya que la información puede tergiversarse y/o perderse al pasar el tiempo, de forma más fácil que en el caso de una persona adulta.

No obstante, es preciso señalar que no por las características particulares de su etapa de desarrollo dejan de ser válidos los testimonios de las infancias y adolescencias, sino por el contrario, es información que permite abordar de manera adecuada casos donde participen, para brindar protección especializada mientras se llevan a cabo todos los procesos judiciales (23).

Niños y niñas pequeñas logran recordar detalles de eventos cuando se vinculan con la subjetividad y los sentidos, partiendo de la etapa cognitiva que están atravesando.

### *Narrativa asistida*

Existen algunos factores a considerar para proceder de forma óptima con la toma de testimonios o declaraciones de NNA.

El contexto que rodea a la situación es una pieza clave, pues teniendo como precepto el cumplimiento con el interés superior de la niñez, el cuál guía todas las acciones concernientes a NNA, considerando su bienestar y derechos de forma integral, se vuelve necesario revisar todas las condiciones que experimentarán.

Algunos puntos a tomar en cuenta que pueden mejorar el entorno y la recolección de la información son los siguientes (13):

- Cambiar el tono de voz: puede que se le dificulte mantener la atención durante cierto tiempo, por lo que es recomendable realizar cambios en la voz para atraer nuevamente su atención.
- Manejo natural del entorno: esto permitirá no transmitir tensión o estrés a NNA, procediendo con naturalidad y contemplando los posibles errores técnicos, explicando toda conducta que se hará enfrente del o la menor para aliviar tensiones.

- **Concentración en un objeto común:** permite mejorar la concentración y el clima de confianza entre NNA y la persona profesional con quién está interactuando.
- **Inclusión de la opinión de NNA:** dar un giro a la dinámica ayuda a la distensión, que ellas y ellos tomen el rol de dirigir la conversación, conociendo su opinión refuerza la seguridad y el pensamiento de que verdaderamente hay interés en lo que puedan decir.
- **Utilización de material desestresante:** la toma de declaraciones en sí misma es complicada, implica una variedad de emociones en NNA, lo que puede ocasionar distracción con mayor facilidad o que se inhíba en la conversación, por lo que se debe manejar algún tipo de material que puede ser de utilidad. Es preciso destacar que existen materiales precisos para manipular en estos contextos procesales.
- **Contexto ordenado y confiable:** propiciará el ambiente para que NNA poco a poco puedan generar el recuerdo de lo ocurrido y ayudará a que la emoción de angustia disminuya. Establece clima de confianza y contención.
- **Contexto que confirme y normalice sentimientos de NNA:** consiste en brindar apoyo inmediato, experiencias seguras y confirmación de sus emociones cuando se expresan, permitiendo que tengan mejor manejo yoico y un acercamiento a la realidad.
- **Psicóloga/o como guía de NNA:** el discurso infantil se dirige a otra persona y necesita de otra persona para poder llevarse a cabo. La persona profesional debe sostener el discurso mediante preguntas, para poder estructurar y elaborar su discurso.

### *Técnicas para la recolección de información (13)*

Existen formas diversas de obtener la declaración de NNA, sin embargo, es necesario utilizar las técnicas que no conlleven a una segunda victimización y que faciliten la recuperación de la información considerando todas las características que se han mencionado hasta el momento. Es importante resaltar que, de estas técnicas, de la cantidad de información y de su precisión, depende mucho que prosperen los casos de violencias a infancias y adolescencias.

Existen distintos tipos de preguntas para la toma de declaraciones y el cómo se formulan juega un papel fundamental para la obtención de la información.

#### **Preguntas abiertas**

Se trata de preguntas que propician el inicio o ayudan a mantener el relato, sin sugerir información y sin caer en especificaciones. No direccionan las respuestas ni asumen hechos.

Suelen tener una estructura más parecida a un comentario que a una pregunta en sí misma, solo deben de seguir la lógica del relato. Permiten que NNA estructuren el relato desde sus propias capacidades y recuerdos, siendo muy útiles al momento de la toma de declaraciones.

#### Preguntas cerradas o específicas

Por el contrario, se trata de preguntas que señalan un hecho particular o dan opciones para escoger alguna de ellas, sin permitir que continúe el relato, posibilitando que se arrojen respuestas muy literales sin ahondar lo suficiente.

No obstante, pueden tener un buen uso cuando se trata de que NNA confirmen sucesos, lugares o personas. Pueden formularse inmediatamente después de haber realizado una pregunta abierta o algún relato libre, con la finalidad de corroborar o complementar la respuesta.

## Discusión

La forma en cómo se consideran las infancias y adolescencias ha ido cambiando con el paso de los años, gracias a la lucha de muchas personas implicadas en cuestionar la visión adulto centrista que sigue permeando en la sociedad. Actualmente, se vive un gran avance en cuanto a materia de derechos de NNA y sus condiciones de vida (1), sin embargo, siguen existiendo grandes desafíos para poder hablar de una visión de derechos para NNA.

México ha tenido participación importante en la firma de distintos convenios y tratados que apuestan a esta visión, siendo el ideal por lograr. No obstante, las firmas en el papel no garantizan que su ejecución sea de forma óptima, se requiere de toda una cultura en materia de derechos de NNA, una sensibilización por parte de la sociedad y recursos por parte del estado para poder generar espacios donde el ejercicio de los derechos de infancias y adolescencias sea pleno. Es un compromiso tanto del estado como de la sociedad para solventar la falta de interés, la ausencia o poca capacitación en estas nuevas y necesarias formas de efectuar la justicia.

Es importante recalcar la necesidad de una preparación y adquisición de herramientas y conocimientos que faculte a las y los profesionales que desempeñan este trabajo, pues la capacidad para interrogar y hacer interrogatorios es una garantía procesal (3), así como contar con los conocimientos especializados para la atención a NNA; desarrollo, comunicación, técnicas de toma de declaración y evaluación (24), aspectos que frecuentemente son ignorados por quienes procuran la justicia en todos los niveles.

La psicología del testimonio necesita ser considerada como parte de las buenas prácticas dentro del sistema de justicia penal, pues aparte de considerar los principios básicos que la psicología aporta para una adecuada

testificación, también existen trabajos específicos en el área forense que dotan de evidencia científica en su aporte al análisis del testimonio. En España es donde se han realizado algunos de los más relevantes, como es la creación del Análisis de Contenido Basado en Criterios (CBCA, 20) que va dirigido a evaluar la credibilidad del testimonio principalmente en NNA, así como el Modelo Holístico de Evaluación de Prueba Testifical (HELPT, 25), el cual se trata de un enfoque holístico de evaluación que considera todos los posibles factores de influencia como de codificación, retención y recuperación, por mencionar algunos de los trabajos que han tenido a bien considerar, aparte de lo mencionado en este trabajo, criterios de validez, fiabilidad y confiabilidad en los testimonios.

Por otra parte, la aplicación correcta de protocolos también implica atender en tiempo y forma las distintas situaciones que impliquen NNA, teniendo en cuenta que entre sea mayor el paso del tiempo, mayor será la complejidad para poder abordar el testimonio, principalmente en infancias y adolescencias, sin ser esto responsabilidad de NNA, sino de quienes operan en los servicios de justicia.

Se ha podido reflejar toda la complejidad que guarda en sí el proceso penal, razón por la cual no se debe perder de vista la necesidad de adaptarlo a las necesidades de las infancias y adolescencias, es decir, procesos donde se tenga el enfoque de protección a sus derechos y se tomen en cuenta sus sensaciones y opiniones (24).

Resulta una gran necesidad que en México se comiencen a cuestionar los protocolos y directrices que se han empleado hasta ahora para la obtención de testimonios, reflexionando sobre las necesidades contextuales y culturales para aplicar trabajos de otros países o la urgencia de generar protocolos nacionales para mejorar los procesos de justicia, especialmente para acompañar a NNA en la participación del ejercicio de sus derechos.

## Bibliografía

1. UNICEF. Los derechos de la infancia y la adolescencia en México. 2019.
2. Martínez, L. El abuso sexual infantil en México: Limitaciones de la intervención estatal. Instituto de Investigaciones Jurídicas (Universidad Nacional Autónoma de México). 2016; (14), 7-30.
3. Rábago, G. La entrevista privada en la investigación inicial. Una aproximación a la intervención de las partes en la formación de la prueba testimonial desde la perspectiva de la psicología del testimonio. IURIS TANTUM. 2020; 32: 45-54.
4. Salcedo, A. El sistema procesal penal acusatorio mexicano. Formalidades y realidades. Alegatos. 2016; (94): 9603-624.
5. Contreras, R. Principios generales del proceso penal. Revistas Letras jurídicas. 2009; 20: 1-11.
6. Hernández, A. Reforma penal en México ¿Mayor seguridad o mayor violencia? Revista de Derecho (Universidad Católica Dámaso A. Larrañaga, Facultad de Derecho). 2017 [citado el 20 de abril de 2022]; 16: 137-163.
7. UNICEF. Informe mundial sobre la violencia contra los niños y las niñas. 2017 [citado el 20 de abril de 2022].
8. Carrancá, L. Estructura y principios de la Convención sobre los Derechos de los Niños [diplomado Psicología Forense Especializada en Niños, Niñas y Adolescentes]. 2020 [citado el 20 de abril de 2022].
9. CNDH. Ley General de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes. 2014 [citado el 20 de abril de 2022].
10. Cárdenas, E. La situación de la infancia y la adolescencia en México. Instituto de Investigaciones Jurídicas (Universidad Nacional Autónoma de México); 2016 [citado el 20 de abril de 2022]; 41-59.
11. Lenzi, A., Borzi, S. y Tau, R. El concepto de desarrollo en psicología: entre la evolución y la emergencia.

- Fundamentos en Humanidades (Universidad Nacional de San Luis). 2011 [citado el 20 de abril de 2022]; (2): 139-163.
12. Straccali, B. El desarrollo infantil y adolescente [diplomado Psicología Forense Especializada en Niños, Niñas y Adolescentes]. 2020.
  13. Secretaría de Seguridad Pública. Modelo Especializado para la toma de declaraciones infantiles. ¿Cómo obtener información sin revictimizar al niño? 2009: 27-77.
  14. Chi, J. Protocolo para el primer testimonio en niños y adolescentes por un equipo interdisciplinario [trabajo de maestría]. [México]: Universidad Autónoma de Yucatán; 2013.
  15. Suprema Corte de Justicia de la Nación. Psicología del testimonio: ya lo dijo la corte [video en internet]. Youtube 5 de abril de 2020.
  16. Santoella, G. La Psicología del Testimonio una técnica de la evaluación forense [trabajo final de diplomado]. [México]: Universidad Autónoma de México; 2013.
  17. Gonzáles, J., Muñoz, J., Sotaca, A. y Manzanero, A. Propuesta de Protocolo para la Conducción de la Prueba Preconstituida en Víctimas Especialmente Vulnerables. Papeles del psicólogo. 2013; 34(3): 227-237.
  18. Acosta, S. La psicología del testimonio en el ámbito psicosocial. La veracidad o la mentira, aspectos con los que se enfrenta el psicólogo jurídico. Revista Electrónica de Psicología Social "POIÉSIS". 2009; (17): 1-10.
  19. Reyes, J. Aplicación de la psicología del testimonio en casos de abuso sexual infantil [trabajo final de diplomado]. [México]: Universidad Nacional Autónoma de México; 2010.
  20. Godoy, V. e Higuera, L. El análisis de contenido basado en criterios (CBCA) en la evaluación de la credibilidad del testimonio. Papeles del psicólogo. 2005; 26(92): 92-98.
  21. Carvacho, P., Velásquez, J., Ortúzar, C. y Santibáñez, M. Las víctimas NNA de delitos sexuales frente al sistema de justicia penal. Propuestas para Chile. Concurso Políticas Públicas 2019. 2019: 47-82.
  22. Straccali, B. Narrativa asistida [diplomado Psicología Forense Especializada en Niños, Niñas y Adolescentes]. 2020.
  23. Catañer, A. Memoria y la atención en los niños y niñas [diplomado psicología Forense Especializada en Niñas, Niños y Adolescentes]. 2020 [citado el 20 de abril de 2022].
  24. UNICEF. La justicia en asuntos concernientes a menores víctimas y testigos de delitos. 2009.
  25. Manzanero, A. y González, José Luis. Modelo Holístico de Evaluación de la Prueba Testifical (HELPT). Papeles del Psicólogo. 2015; 36(2): 125-138.

# Valor probatorio de las pruebas periciales científicas en el proceso penal acusatorio

Juan Manuel Pastrana Ortega <sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup>Programa de Posgrado en Derecho en la Maestría en Política Criminal, Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM.

✉ manuelpastrana.ortega@gmail.com

## Datos del artículo

Cita: Pastrana Ortega Juan Manuel. 2022. Valor probatorio de las pruebas periciales científicas en el proceso penal acusatorio. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(2): 84-98 pp.

Editor: Karla Ivonne Vázquez Barrera

Recibido: 15 marzo 2022.

Aceptado: 5 octubre 2022.

Publicado: 28 octubre 2022.

## Resumen

La transición del sistema penal inquisitivo-mixto al de corte acusatorio y oral en México provocó que se generarán más dudas que respuestas respecto a la forma en cómo se brinda justicia y es que, este gran cambio al ordenamiento y sistema jurídico provocó que la impartición y procuración de justicia debiera sustentarse no solo en lo que aporta la Ciencia Jurídica, sino con la utilización de otras áreas del conocimiento. De tal modo que, el problema principal es la forma en cómo se valora la información que los expertos científicos y/o técnicos aportan en juicio y es que, a pesar de que las pruebas periciales ya eran y son consideradas como elementos base de toda sentencia, en muchos de los casos su alcance probatorio no llega a ser el adecuado en virtud de que quién las analiza puede no entender su naturaleza y características por usar criterios que parten del Derecho y no así de la Ciencia. Es por tal razón que para poder lograr una mejor valoración y con ello acercarse a la emisión de un fallo que supere la máxima de toda duda razonable sustentado en la objetividad se propuso la incorporación de un estándar que reformaría los artículos 259, 265, 356 y 368 del Código Nacional de Procedimientos Penales; logro obtenido con el uso de métodos como el histórico, deductivo y de derecho comparado basándose en tesis aisladas y casos específicos que establecieron parámetros base para considerar a una prueba pericial como científica.

**Palabras clave:** ciencia forense, prueba científica, valoración, estándar, derecho.

## Abstract

The transition from the inquisitorial-mixed criminal system to the accusatory and oral system in Mexico generated more doubts than answers regarding the way in which justice is provided, since this great change in the legal system meant that the administration of justice should be based not only on the contributions of legal science, but also on the use of other areas of knowledge. Thus, the main problem is the way in which the information provided by scientific and/or technical experts is evaluated in court, and despite the fact that expert evidence was and is considered as a basic element of every sentence, in many cases its evidentiary scope is not adequate because the person who analyzes it may not understand its nature and characteristics due to the use of criteria that are based on Law and not on Science. It is for this reason that in order to achieve a better evaluation and thus approach the issuance of a judgment that exceeds the maximum of reasonable doubt based on objectivity, the incorporation of a standard that would reform articles 259, 265, 356 and 368 of the National Code of Criminal Procedures was proposed; an achievement obtained with the use of methods such as historical, deductive and comparative law based on isolated theses and specific cases that established base parameters to consider an expert evidence as scientific.

**Keywords:** forensic science, scientific test, Valuation, standard, law.



## Introducción

El nuevo sistema penal de corte acusatorio y oral trajo consigo una serie de cambios necesarios para ajustarse a la realidad jurídica del país, esto debido a que la sociedad mexicana requiere certeza y seguridad respecto de la impartición y procuración de justicia; el problema es que conforme avanza el tiempo, la aplicación de este sistema nos hace encontrar situaciones que deben resolverse a la brevedad para así cumplir con el objetivo principal de este cambio y así se haga notar.

Como problema principal se encuentra la forma en como se valoran todas y cada una de las pruebas incluida una pericial científica, misma que por su naturaleza debe de ser evaluada y entendida en principio con criterios específicos que partan de su propia rama para así posteriormente aplicar los que establece la Ciencia Jurídica y con ello estar en la posibilidad de ayudar al órgano jurisdiccional a analizar de mejor forma este tipo de prueba y así se pueda alcanzar la mayor aproximación a la verdad.

Lo anterior se debe a que las ciencias forenses o pruebas periciales científicas y/o técnicas han adquirido gran relevancia en el campo jurídico y no solo para este nuevo procedimiento penal sino para otros de las diversas ramas del Derecho, toda vez que su latente objetividad y alcance provoca que se convierta en una de las pocas herramientas que podría erradicar la arbitrariedad plasmada en los fallos condenatorios o absolutorios.

Por tal razón y para poder lograr la solución de esta gran problemática es necesario que el Derecho y las diversas ciencias mantengan un contacto directo que permita generar la homologación de criterios para así controlar la validez y alcance que una prueba pericial científica tendrá en juicio y esto solo será posible si dentro de la ley sustantiva existe un estándar que pueda responder a esa necesidad puesto que nuestra validez jurídica se encuentra sustentada en el derecho escrito.

### *La prueba y la prueba pericial científica a través de los diversos sistemas penales mexicanos.*

El sistema y ordenamiento penal en México a lo largo del tiempo ha tenido que irse modificando debido a la necesidad de adecuarse al paradigma y a las necesidades tanto de la sociedad como de las autoridades; el primer sistema a considerar es el inquisitivo, mismo que facultaba a una sola autoridad para realizar las tareas de persecución, investigación y sanción de los delitos.

La base de este sistema era seguir un procedimiento de forma secreta en el que el acusado no pudiera conocer en qué etapa del procedimiento se encontraba y por tal razón es que no podía defenderse de la imputación que se le hacía y es que, toda la dirección del procedimiento penal era realizada por una misma persona, teniendo como consecuencia un proceso subjetivo y arbitrario en el

que la reina base del fallo era la confesión de la persona, misma que en muchos de los casos se obtenía a través de torturas o actos inhumanos.

Dicho sistema que estuvo vigente hasta principios del siglo XIX fue sustituido por el acusatorio, por tal razón es que para México no es nuevo el sistema que actualmente se encuentra vigente, la diferencia es que anteriormente la responsabilidad y sanción de la persona era decidida por un grupo de personas que en su conjunto eran llamados jurado, figura con la que se intentó suprimir los abusos cometidos por la única autoridad facultada para la impartición y procuración de justicia.

Lamentablemente la puesta en práctica de este sistema hizo que se notaran “los rezagos del viejo sistema porque seguía influyendo al procedimiento penal, esto debido a que el Juez o la Jueza seguían teniendo facultades en fase de instrucción y en la etapa de juicio” (1), por eso fue necesario encontrar una solución y la creación de la figura del Ministerio Público como sujeto facultado para ser quien acuse a la persona y con ello se le brindaran mayores herramientas al acusado para defenderse y es que, el hecho de delegar las tareas que antes se encontraban monopolizadas por una sola autoridad permitía eliminar o al menos hacer menos notorias las arbitrariedades.

Y aunque esta reforma al sistema fue ideada para obtener un resultado distinto en el que el procesado tuviera mayores derechos por los principios propios del sistema y con ello se le permitiera ofrecer sus propios medios de prueba para demostrar su punto, la puesta en práctica puso de manifiesto la existencia de diversos obstáculos que no permitían alcanzar la justicia deseada ya que, por un lado el Ministerio Público en conjunto con la policía judicial realizaban actos violatorios de derechos para integrar la averiguación y así presentarla ante el titular del juzgado, mismo que por las diversas actividades y la no obligatoriedad de estar presente, delegaba sus funciones a los auxiliares provocando que la sentencia emitida no considerara todos los elementos de forma directa y únicamente fuera sustentada en la información aportada por la parte acusadora.

Es por eso que, una vez más fue necesario realizar un cambio al procedimiento y a las leyes que lo regulaban y tomando lo mejor de ambos sistemas es que apareció el llamado sistema inquisitivo-mixto, sistema que permaneció vigente hasta antes de la entrada en vigor del nuevo ordenamiento jurídico penal en el 2008, todo esto para dar la oportunidad de que ambos sujetos procesales, Ministerio Público y acusado tuvieran una libre elección basada principalmente en la aportación probatoria, esto para demostrar la responsabilidad penal y participación o no de la persona por considerar a la prueba como el medio que sirva para poder determinar la relación jurídica existente entre el probable responsable y el hecho ilícito que se investiga y así lograr el convencimiento del órgano jurisdiccional.

Y es que este medio será el que sirva para poder determinar la relación jurídica existente entre el probable responsable y el hecho ilícito que se investiga

todo porque ese conocimiento extra que se incorpora al procedimiento ayudará a conocer circunstancias base como el modo, tiempo y lugar en que ocurrieron los hechos, pero para que esto pueda pasar es necesario ofrecer los medios de prueba establecidos dentro de la ley adjetiva de cada jurisdicción y que para el caso específico eran los establecidos en el artículo 135 del Código de Procedimientos Penales para el Distrito Federal como lo son: la confesión, los documentos públicos y privados, dictámenes de peritos, la inspección ministerial y la judicial, la declaración de los testigos y las presunciones.

Claro, cada uno de estos medios de prueba eran importantes para el contexto completo de la investigación y sanción de los delitos, pero aún era más relevante la confesión de la persona acusada por lo que el dictamen del perito se llegaba a convertir en un documento más que engrosaba el expediente y aunque la propia ley señalaba la necesidad de poseer un experto con conocimientos especiales para los casos específicos, su intervención se encontraba limitada porque el encargado de la investigación decía qué debía establecer en su informe y/o dictamen para favorecer la acusación o la defensa, dejando de lado y restándole relevancia a lo objetivamente aportado por la ciencia.

Y claro, aunque no siempre sucedían este tipo de pedimentos para que el informe o el dictamen pericial favoreciera a una de las partes intervinientes del procedimiento, la problemática continuaba en virtud de que llegada la etapa de valoración probatoria, la propia ley señalaba el alcance que tendría un dictamen, hecho que seguía limitando el alcance y la naturaleza objetiva de la ciencia utilizada ya que, dicha valoración se encontraba sustentada en principio por criterios base del Derecho tal y cómo lo establecía el artículo 254 del entonces Código de Procedimientos Penales para el Distrito Federal.

Dichos criterios o sistemas usados para valorar una prueba en el ámbito jurídico y que a lo largo de los años se han ocupado han sido adecuados para concordar con el sistema penal vigente en cada época y aunque poco a poco se han ido adaptando a la realidad, la valoración seguía siendo limitada porque no existía una correcta comunicación entre la Ciencia Jurídica y las demás ciencias o áreas del conocimiento.

Lo anterior adquiere relevancia en un momento en el que la ciencia en general ha adquirido un mayor avance ya que, anteriormente este tipo de pruebas no eran aceptadas dentro de los ordenamientos legales porque “la ciencia forense se encontraba plagada de investigaciones escasas y prácticas inconsistentes” (2), por lo que se aceptaban más las pruebas como las testimoniales o las confesionales.

Afortunadamente con este nuevo cambio de sistema de un inquisitivo-mixto a uno de corte acusatorio y oral, la prueba y principalmente la pericial adquiere gran relevancia porque es con esta con la que se va a poder sustentar una sentencia, más aún, que el actual Código Nacional de Procedimientos Penales menciona que para poder establecer razonablemente la existencia de un hecho delictivo y la probable participación del imputado es necesario alcanzar

el estándar conocido como más allá de toda duda razonable y la utilización de este tipo de prueba aporta la objetividad requerida.

Pero para poder alcanzar esto es necesario que exista una constante capacitación de los servicios periciales y claro de las personas expertas, más aún que para este sistema el perito pasa a constituirse como órgano de prueba en el entendido de que “es todo sujeto que aporta un elemento de prueba y lo transmite al proceso” (3) ya que, él interviene en todas las etapas del procedimiento desde el conocimiento de la noticia criminis con el levantamiento y traslado de la evidencia a los laboratorios hasta el desahogo de la prueba ante el Tribunal de Enjuiciamiento.

Siendo importante hacer el señalamiento de que no es lo mismo hablar de una prueba pericial sustentada en un oficio, un arte o una ciencia; situación que afortunadamente ha sido resuelta por distintas jurisdicciones y en el caso de nuestro país por los Tribunales Colegiados de Circuito que en materia administrativa emitieron una tesis aislada que señala que el término de una prueba científica debe ser entendida como:

*“... Nociones y métodos de análisis que rebasan el patrimonio cultural del que –en circunstancias normales- dispone el Juez a partir o conforme a una cultura media o del sentido común, lo que por supuesto implica que no puede conocer todas las nociones y metodológicas científicas necesarias para la conformación de la prueba o la valoración de los hechos ...”[4].*

Es decir, que una prueba pericial científica son todos los conocimientos científicos que utilizan métodos y técnicas ajenas al sentido común por lo que para conocer éstas se requiere una trayectoria académica especial que se adquiere con el estudio de las teorías específicas de cada ciencia y con la puesta en práctica de estas en el campo.

Lo anterior es sumamente importante porque si no se cumple con esto, la supuesta prueba pericial científica carecería de validez tanto científica como jurídica ya que, dejaría de poseer esa naturaleza propia que se basa en el uso de métodos y técnicas especializadas y más si el llamado testigo experto debe presentarse a audiencia de juicio oral para describir su dictamen frente a los sujetos intervinientes y así el Tribunal de Enjuiciamiento pueda apreciar de primera mano la intervención forense y con ello evaluarla para emitir su fallo, mismo que deberá contener el alcance probatorio de cada una de las pruebas vertidas en el procedimiento alcanzando así el ya mencionado estándar conocido como más allá de toda duda razonable.

#### *La correcta valoración de la prueba pericial científica.*

Ahora bien, para poder incorporar de forma correcta los conocimientos especializados y principalmente los criterios de validez y confianza que tiene la

ciencia, es necesario abrirse a la idea de homologar la valoración probatoria que hacen los jueces respecto de las pruebas periciales científicas para así reducir las probabilidades de tener sentencias distintas y es que, si se toma de base la libertad valorativa que otorga el código sustantivo es posible que el criterio de la autoridad judicial difiera del de otro máxime porque la experiencia tanto académica como profesional no será la misma y por tanto para fundamentar y motivar su fallo tomará de base su propio criterio.

Dicho esto, lo que se propone es reformar diversos artículos del Código Nacional de Procedimientos Penales en principio para separar las pruebas periciales científicas de las demás y con eso seleccionar criterios base utilizados por todas las ciencias para así marcar las directrices que deben tomarse al momento de valorar las pruebas y es que, a pesar de que los tribunales posean libertad de valoración, los expertos en la Ciencia Jurídica solamente deberán controlar la validez científica con base en lo que establece cada ciencia para cada prueba en específico.

Y aunque en nuestro país no se ha tenido la gran fortuna de encontrar tantos casos que requieran de un análisis tan exhaustivo en cuanto a las pruebas periciales científicas, el asunto que más repercutió en el área forense fue el del detector molecular GT-200, herramienta que fue adquirida por el gobierno mexicano con el fin combatir el narcotráfico dentro del país; este artefacto, según su ficha documental de operación servía para detectar sustancias, personas o algún otro elemento siempre y cuando se le instalara la tarjeta correspondiente; lo que hacía el detector era escanear el área, detectando la existencia o no de algún elemento mediante el campo electromagnético de la persona usuaria.

El detector molecular fue inventado por la compañía Global Technical LTD, suponiendo que fue creado bajo métodos y técnicas científicas válidas, lamentablemente al ser una creación de la ciencia se creyó firmemente de su funcionalidad provocando varias detenciones y dejando indefensos a quienes eran culpados fundamentándose en el uso del detector por la creencia de que un artefacto proveniente de la ciencia era suficiente para demostrar la responsabilidad penal del acusado.

Esta situación cambió con la emisión de la resolución de la causa penal 15/2011-V en la que la titular del juzgado Decimocuarto de Distrito en el Estado de Veracruz argumentó que la detención de las dos jóvenes que viajaban en un autobús sobre la autopista Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas carecía de sustento porque la justificación de dicha detención se basó en el escaneo hecho por elementos del Ejército Mexicano usando el detector molecular GT-200 para así localizar cocaína debajo de los asientos de las jóvenes.

En la sentencia, el Tribunal de Enjuiciamiento desestimó la prueba en donde se utilizó el detector molecular GT-200, “señalando que esta herramienta no cumplía con las características que se exigen para la prueba científica, para demostrar esto, utilizó el criterio de la Primera Sala de la Suprema Corte de Justicia de la Nación” (5), dicha tesis aislada menciona que:

*“...para que un órgano jurisdiccional pueda apoyarse válidamente en una opinión de algún experto en una rama de la ciencia, es necesario que esa opinión tenga las siguientes características: a) Que la evidencia científica sea relevante para el caso concreto en estudio, es decir, que a través de la misma pueda efectivamente conocerse la verdad de los hechos sujetos a prueba, y b) que la evidencia científica sea fidedigna, esto es, que se haya arribado a ella a través del método científico, para lo cual se requiere, generalmente, que la teoría o técnica científica de que se trate haya sido sujeta a pruebas empíricas, o sea, que la misma haya sido sujeta a pruebas de refutabilidad; haya sido sujeta a la opinión, revisión y aceptación de la comunidad científica; se conozca su margen de error potencial, y existan estándares que controlen su aplicación. Si la prueba científica cumple con estas características, el juzgador puede válidamente tomarla en cuenta al momento de dictar su resolución”(6).*

Los criterios definidos por el Tribunal de nuestro país son similares a los requisitos que estableció la Corte Suprema de Estados Unidos en el caso Daubert para admitir un testimonio experto y a lo establecido por la regla 702 de las Reglas Federales de Evidencia; siendo estos los de:

- a) Que la evidencia científica sea relevante para el caso concreto en estudio: es decir que la prueba ofrecida sea idónea y pertinente para comprobar los hechos que se presentan.
- b) Que la evidencia científica sea fidedigna: esto es, que los resultados obtenidos del examen realizado por medio de los métodos y técnicas hayan sido obtenidos mediante el uso del método científico.
- c) Que la teoría o técnica científica de que se trate haya sido sujeta a pruebas de refutabilidad: es decir que los conocimientos aplicados haya y puedan ser aplicados por más expertos y que los resultados obtenidos no van a variar de examen a examen.
- d) Que haya sido sujeta a la opinión, revisión y aceptación de la comunidad científica: este punto es importante ya que, es el que ha prevalecido dentro de todos los casos presentados por dudas existentes en cuanto a pruebas periciales científicas, ya sea en nuestro país o en otros; entendiéndose que los conocimientos aplicados sean de entendidos y validados por la comunidad científica que aplique.
- e) Que se conozca su margen de error potencial, y existan estándares que controlen su aplicación: como se ha mencionado a lo largo de este capítulo, es importante conocer el grado de confiabilidad que posee una ciencia ya que, solamente así es como se sabrán los rangos de error y confianza que posea cada ciencia en particular; esto para tener la certeza de que lo aplicado es fiable.



A pesar de que el extracto obtenido de lo que pronunció la Primera Sala de la Suprema Corte de Justicia de la Nación se trate de una tesis aislada, ésta nos da una guía para valorar las pruebas científicas, tal y como lo hizo la titular del juzgado en el caso del detector molecular; ella tomó en cuenta los criterios marcados anteriormente para desestimar la detención y responsabilidad que pudieran tener las dos jóvenes.

Para llegar a su conclusión, utilizó la ficha documental de operación del GT-200, misma que fue elaborada por el Doctor W. Luis Mochán Backal, investigador que por su amplio recorrido profesional y al ser miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel III así como investigador del Instituto de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Autónoma de México su opinión experta es considerada como válida y que en referencia al estudio realizado al detector concluyó que:

*“Existen muchas deficiencias en cuanto a conceptos de frases, no utiliza un lenguaje científico correcto y que su metodología no es compatible con los conocimientos científicos contemporáneos. Además de afirmar que el equipo no funciona como se menciona en su instructivo ya que, la energía que necesitaría para poder mover la antena detectora y así localizar las sustancias, objetos o personas, no se obtiene de ninguna fuente interna toda vez que, al realizar un extenso estudio mecánico solamente se encontró dentro un foco que prendía una luz, misma que no sirve de nada para hacer funcionar el artefacto.*

*La ficha informativa del aparato menciona que el detector molecular funciona con la electricidad estática generada por el cuerpo humano que lo maneja, siendo falso esto ya que, la antena en sí es controlada por la energía mecánica que genera el usuario, de manera que el operador es quien mueve la antena bajo la idea-motor del usuario” (7).*

Esta información fue robustecida con la prueba de campo encargada por el perito Alejandro Ramírez Solís en la que sometió dicho artefacto a un estudio en la que con base en la estadística y probabilidad se pusiera en duda la efectividad que tiene el GT-200; dicha prueba se basó en utilizar al detector molecular para localizar sustancias que fueron escondidas en diversos lugares y que en apoyo con elementos del Ejército Mexicano se pudo llegar a la conclusión de que su efectividad era menor a la esperada.

Siendo el resultado de este estudio el que se consideró como útil para la resolución del caso presentado en contra de las dos jóvenes detenidas, donde se encontró la ineficiencia del detector molecular y de la importancia que se le debe dar a las pruebas periciales, considerando en todo momento la técnica utilizada, los conocimientos aplicados y la experiencia que tiene o no el experto del área.



Así es como estos casos presentados a nivel nacional o internacional pusieron de manifiesto la necesidad de tener pruebas periciales científicas para resolver un litigio y a pesar de que estos son de los más conocidos, en la práctica se debe tener una infinidad de casos en donde este tipo de pruebas llegan a ser la base para emitir un fallo ya sea en sentido condenatorio o absolutorio; por tal razón es que deben existir estándares obligatorios actualizados a la época y al desarrollo científico existente para que la valoración de estas pruebas se haga de la mejor forma, recordando que toda ciencia se encuentra en constante avance y cambio y por tanto debe ser corroborada en aras de alcanzar la objetividad deseada.

Cabe aclarar que los criterios mencionados con anterioridad deben atender únicamente a las pruebas con índole científico dado que dentro del conjunto conocido como pruebas periciales también se encuentran las artes u oficios, mismas que por su propia naturaleza no se encuentran basadas en métodos que estén validados por la comunidad científica, toda vez que en muchas de las ocasiones sus teorías, técnicas, métodos e interpretaciones parten de métodos ajenos al científico y por tanto son validadas por la comunidad del área que se trate.

Lo anterior no significa que las pruebas periciales son el único medio de prueba existente y válido en juicio para acreditar un hecho puesto que, su simple existencia o aparición no será suficiente para comprobar la realización o no del hecho marcado como delito toda vez que, es necesario contar con los otros elementos probatorios para llegar a la convicción de la autoridad judicial y así superar el estándar probatorio de más allá de toda duda razonable.

Y es justo de aquí donde surge el problema y retomando lo mencionado en párrafos anteriores, el tipo de valoración que se utiliza actualmente analiza de forma general a todas las pruebas por igual utilizando la valoración mediante “dos fases, la primera de ellas es la acreditación o desacreditación de quien declara y la segunda la acreditación o desacreditación de la declaración” [8], hecho que genera obstáculos porque la valoración libre y lógica aplicada a una prueba en concreto y no a todas como se realiza, únicamente debe ser dirigida a aquellas declarativas como lo son las testimoniales o las que no están basadas en el método científico, por tal razón es que esto no puede ser trasladado a las periciales ya que, como se ha mencionado su naturaleza es diferente por el simple hecho de contener métodos y técnicas científicas, mismos que deben demostrarse en juicio.

Es razón por la que la persona juzgadora deberá estudiar la veracidad del desarrollo de todo el dictamen emitido por el perito y no solo centrarse en la forma en cómo se desarrolló en audiencia de juicio con su declaración, esto para cerciorarse de que tanto en el medio como en el sujeto de prueba se encuentran presentes los conocimientos científicos y así demostrar el buen manejo de estos ya que, lo declarado por esta prueba deberá estar basado en aquellas teorías, métodos, técnicas que la propia ciencia tiene para así hacer más probable la demostración veraz de los hechos acontecidos.

Siendo justo este el momento procesal oportuno donde la persona juzgadora se preguntará ¿qué conocimientos son los que están dotados de validez científica? y ¿cómo es que los resultados obtenidos por el perito son fiables?; preguntas que solo serán resueltas en audiencia de juicio con base en la declaración del experto, del interrogatorio, contrainterrogatorio e inclusive debería ser con base en la presentación de su informe o dictamen para que la valoración libre y lógica se haga conforme al “método analítico o atomista y no así con el holístico o global, esto en virtud de que el primero atiende a la valoración individual de cada elemento probatorio para asignarle un valor propio y que de la inferencia y concatenación de todos los elementos aportados se pueda llegar a la toma de una decisión y no así con el holístico o global que toma todos los elementos probatorios en su conjunto y contexto completo” (9).

La razón de la utilización del citado método analítico o atomista se debe a que una prueba pericial científica debe ser estudiada de forma individual por sus características propias para así corroborar su fiabilidad, idoneidad y pertinencia para el caso concreto, siendo este el porque se propone colocar dentro del Código Nacional de Procedimientos Penales una guía con la que se pueda realizar una correcta valoración de la prueba pericial científica de forma individual para que así posteriormente se una a las demás y es que, la buena valoración de este tipo de pruebas debe depender de que tan acercado a la ciencia se encuentren los resultados y que tan certeros sean basados en la fiabilidad de los métodos y técnicas utilizadas.

Teniendo en cuenta esto, la pretensión específica es concentrar dentro del código sustantivo los criterios establecidos por la doctrina, de las tesis aisladas y/o argumentos jurisdiccionales que resolvieron casos individuales tanto en Tribunales Mexicanos como Norteamericanos tal y cómo se hizo con la llamada Trilogía Daubert y el del detector molecular GT-200, aclarando que la idea no fue plantear o definir qué es ciencia o cómo debe practicarse, sino que lo que se hizo fue “dar parámetros que debería tener todo conocimiento al que se le pudiera atribuir como ciencia” (10) y es que, después de haber hecho el análisis de toda esta información es necesario colocar punto por punto dichos criterios en la ley para que las y los juzgadores al momento de emitir su fallo y se encuentren ante una prueba con estas características tomen de base los requisitos mínimos para considerar que una prueba efectivamente es una prueba pericial científica.

Es necesario recalcar que los criterios utilizados no son limitativos ya que, con el paso del tiempo podrían profesionalizarse estas ideas, siempre y cuando se realice un estudio interdisciplinario entre profesionales del derecho y científicos toda vez que, como se ha mencionado, el experto jurídico y principalmente los encargados de la procuración e impartición de justicia son controladores de la información que poseen los científicos, dicho de otra forma, el o la titular del juzgado solamente actúa como árbitro dentro del juicio oral.

Ahora bien, las reformas que a continuación se mencionan tienen como objetivo que aquellas pruebas periciales con valor científico se consideren más

para este nuevo sistema penal ya que, actualmente nos encontramos en una etapa jurídica en la que necesitamos resolver los problemas suscitados, al menos en materia penal, con toda la objetividad posible.

Teniendo en cuenta esto, la primera reforma que se propone es sobre el artículo 356 del Código Nacional de Procedimientos Penales.

**Tabla 1.** Libertad probatoria.

Actualmente	Reforma
<p>“Artículo 356. Libertad probatoria                      Todos los hechos y circunstancias aportados para la adecuada solución del caso sometido a juicio podrán ser probados por cualquier medio pertinente producido e incorporado de conformidad con este Código”.</p>	<p>“Artículo 356. Libertad probatoria                      Todos los hechos y circunstancias aportados para la adecuada solución del caso sometido a juicio podrán ser probados por cualquier medio pertinente producido e incorporado de conformidad con este Código.                      Lo dicho en el párrafo anterior será posible siempre y cuando dichas probanzas vayan dirigidas a hacer un hecho más o menos probable y estas sean las idóneas para acreditar la acción u omisión.”</p>

Se propone agregar a este artículo un último párrafo, el cual consiste en adicionar los conceptos de idoneidad y pertinencia de la prueba, esto debido a que actualmente y para el nuevo sistema se deben elegir de manera más consciente y razonada que tipo de pruebas son las adecuadas para acreditar un hecho.

Por otro lado, es necesario establecer las diferencias que existen en los diferentes tipos de pruebas periciales que se pueden ofrecer, esto con el objetivo de utilizar el estándar valorativo y sus criterios a una prueba en especifica siendo esta la basada en la ciencia.

**Tabla 2.** Prueba pericial científica.

Actualmente	Reforma
<p>“Artículo 368. Prueba pericial.                      Podrá ofrecerse la prueba pericial cuando, para el examen de personas, hechos, objetos o circunstancias relevantes para el proceso, fuere necesario o conveniente poseer conocimientos especiales en alguna ciencia, arte, técnica u oficio”.</p>	<p>“Artículo 368. Prueba pericial                      Podrá ofrecerse la prueba pericial cuando, para el examen de personas, hechos, objetos o circunstancias relevantes para el proceso, fuere necesario o conveniente poseer conocimientos especiales en alguna ciencia, arte, técnica u oficio.                      Tratándose de pruebas periciales científicas, el resultado de esta prueba deberá ser producto de principios y métodos fiables, mismos que debieron ser aplicados por el experto de manera confiable.”</p>

Como puede observarse, dentro del artículo antes citado se establece que, para poder aplicar una prueba pericial, es necesario poseer conocimientos especiales en alguna ciencia, arte, técnica u oficio y como ya ha quedado establecido dentro del presente trabajo, una prueba científica debe reunir ciertos requisitos para considerarla con ese valor de ciencia.

Con el objetivo de establecer que una prueba científica posee sus criterios para considerarse como tal, es que se propone que, en caso de pruebas periciales consideradas como científicas, es necesario que éstas hayan sido obtenidas mediante la aplicación de métodos y técnicas confiables y aceptadas por la comunidad de su área, es decir que se encuentren validadas, aunado a que el experto haya seguido los protocolos necesarios para obtener un buen resultado siempre y cuando haya sido posible y las circunstancias lo permitan. Esta reforma tiene gran importancia e impacto dentro del nuevo sistema ya que, es importante poder separar qué tipos de pruebas periciales son las que deberán ser evaluadas mediante el estándar que se pretende incorporar.

Teniendo estas nuevas redacciones en ambos artículos, es momento de conocer la forma de valoración que usa el órgano jurisdiccional para las pruebas ya desahogadas en audiencia de juicio oral, para esto se tomará en cuenta lo asentado dentro del artículo 259 del Código Nacional de Procedimientos Penales.

**Tabla 3.** Valoración de la prueba pericial científica.

Actualmente	Reforma
<p>“Artículo 259. Generalidades Cualquier hecho puede ser probado por cualquier medio, siempre y cuando sea lícito. Las pruebas serán valoradas por el Órgano jurisdiccional de manera libre y lógica. Los antecedentes de la investigación recabados con anterioridad al juicio carecen de valor probatorio para fundar la sentencia definitiva, salvo las excepciones expresas previstas por este Código y en la legislación aplicable. Para efectos del dictado de la sentencia definitiva, sólo serán valoradas aquellas pruebas que hayan sido desahogadas en la audiencia de juicio, salvo las excepciones previstas en este Código.”</p>	<p>“Artículo 259. Generalidades Cualquier hecho puede ser probado por cualquier medio, siempre y cuando sea lícito. Las pruebas serán valoradas por el Órgano jurisdiccional de manera libre y lógica. Los antecedentes de la investigación recabados con anterioridad al juicio carecen de valor probatorio para fundar la sentencia definitiva, salvo las excepciones expresas previstas por este Código y en la legislación aplicable. Para efectos del dictado de la sentencia definitiva, sólo serán valoradas aquellas pruebas que hayan sido desahogadas en la audiencia de juicio, salvo las excepciones previstas en este Código Para el caso de aquellas pruebas periciales, el Órgano Jurisdiccional deberá observar lo dispuesto por el artículo 265 del presente Código, esto para considerar o no a una prueba como científica.”</p>

El artículo citado anteriormente, al ser la unión de conceptos marcados con anterioridad, siendo el de la libertad probatoria y el modo de valorar las pruebas, es necesario incluir un último párrafo en donde se establezca que, para el caso de pruebas periciales se deberá observar lo dispuesto por el estándar de valoración, mismo que se encontrará en un artículo subsecuente.

Agregando un último párrafo al artículo 259 en el cual se establece que, si se ofrecen pruebas periciales estas deberán ser observadas y valoradas conforme un estándar, mismo que determinará si es que dicha prueba puede considerarse con valor científico.

Aquí es donde se incluirá el estándar que aportará criterios guía para que los titulares de los juzgados consideren o no a una prueba pericial como científica y así poder determinar su valor y alcance probatorio para la sentencia; es por eso que en el artículo 265 del mismo código, se agregarían estos criterios para considerar a una prueba como científica, criterios que como se ha establecido, fueron obtenidos por el estudio de casos internacionales y nacionales en donde el uso de una prueba pericial fue base para poder resolver el procedimiento.

**Tabla 4.** Criterios para valorar la prueba pericial científica.

Actualmente	Reforma
<p>“Artículo 265. Valoración de los datos y prueba</p> <p>El Órgano jurisdiccional asignará libremente el valor correspondiente a cada uno de los datos y pruebas, de manera libre y lógica, debiendo justificar adecuadamente el valor otorgado a las pruebas y explicará y justificará su valoración con base en la apreciación conjunta, integral y armónica de todos los elementos probatorios.</p> <p>El Órgano jurisdiccional asignará libremente el valor correspondiente a cada uno de los datos y pruebas, de manera libre y lógica, debiendo justificar adecuadamente el valor otorgado a las pruebas y explicará y justificará su valoración con base en la apreciación conjunta, integral y armónica de todos los elementos probatorios”</p>	<p>“Artículo 265. Valoración de los datos y prueba</p> <p>El Órgano jurisdiccional asignará libremente el valor correspondiente a cada uno de los datos y pruebas, de manera libre y lógica, debiendo justificar adecuadamente el valor otorgado a las pruebas y explicará y justificará su valoración con base en la apreciación conjunta, integral y armónica de todos los elementos probatorios. Cuando para la comprobación de un hecho se ofreció una prueba pericial, el Órgano Jurisdiccional deberá observar los siguientes puntos para considerar si es que esta prueba es científica y válida:</p> <p>I. La evidencia científica sea relevante para el caso concreto en estudio, que la prueba ofrecida sea idónea y pertinente para comprobar los hechos que se presentan.</p> <p>II. La evidencia científica sea fidedigna, que los resultados obtenidos del examen realizado por medio de los métodos y técnicas hayan sido obtenidos mediante el uso del método científico.</p> <p>III. La teoría y técnica científica de que se trate haya sido sujeta a pruebas de refutabilidad, que los conocimientos aplicados puedan ser replicados por más expertos del área y que los resultados obtenidos sean similares o iguales, siempre y cuando se aplique el examen bajo las mismas condiciones.</p> <p>IV. Los conocimientos aplicados hayan sido sujetos a la opinión, revisión y aceptación de la comunidad científica; que la teoría, el método y la técnica utilizada sean conocidos, hayan sido refutados y validados por la comunidad científica del área que se aplique.</p> <p>V. Conocer el margen de error potencial y que existan estándares que controlen su aplicación; siendo los rangos de error y confianza que cada ciencia posea para así poder determinar su confiabilidad.</p> <p>Para el caso de que no se cumplan estos elementos en una prueba pericial, el órgano Jurisdiccional determinará el alcance probatorio de la pericial basado en la apreciación conjunta de todos los elementos probatorios”.</p>

En este artículo es donde se le da la facultad al Órgano Jurisdiccional de otorgar libremente el valor a cada probanza, además de que su valoración se hará de forma libre y lógica, utilizando el sistema de la Sana Crítica que ya quedó definido; la reforma que se propone está dirigida a establecer dentro de este artículo el estándar y elementos que deba considerar la persona juzgadora para considerar dicha probanza con valor científico y posteriormente le otorgue el valor que él considere el adecuado para la sentencia.

En el artículo ya reformado es que se establecen los criterios que deberá observar el o la titular del juzgado para valorar una prueba pericial científica; criterios que fueron obtenidos mediante el análisis de los casos mencionados en párrafos anteriores como lo fueron la Trilogía Daubert y el del detector molecular GT-200, mismos en donde la prueba pericial científica fue la base para resolver la litis.

Como se puede observar, los elementos marcados para el estándar están basados en el estudio conjunto de la Ciencia y el Derecho, lo que indica que es necesario seguir impulsando la conjunción interdisciplinaria de dichas áreas para así poder tener un mayor y mejor control de la validez científica, esto para que el nuevo sistema de justicia penal obtenga mejores resultados, mismos que darán certeza y confianza a la sociedad mexicana.

## Conclusiones

- 1.- El cambio que se realizó dentro del sistema penal en México fue necesario por la realidad jurídica en la que nos encontramos; pero este cambio presenta diversas problemáticas que solamente serán resueltas si es que le damos la importancia que se merecen las demás áreas del conocimiento.
- 2.- La incorporación de la Ciencia en el Derecho es de vital importancia dado que produce el cambio que se necesita para seguir avanzando y aprendiendo, cambio que solamente será cumplido si es que dejamos de lado el egoísmo que como especialistas del derecho tenemos puesto que creemos que podemos resolver todas las dudas existentes sin necesitar de alguien más.
- 3.- Se debe fortalecer la unión de disciplinas para así obtener mejores resultados en la procuración y administración de justicia, teniendo en cuenta que el uso de las ciencias forenses en los procesos judiciales se han convertido en la base para resolver cualquier situación que se llegue a presentar en vista de que son estos conocimientos especializados los que aportarán la objetividad que tanta falta le hace a nuestro sistema legal.
- 4.- El estándar propuesto es únicamente para valorar a la prueba pericial científica ya que, así es como se podría resolver el problema planteado dado que su uso en muchas de las ocasiones es el que incorpora el criterio objetivo faltante en la motivación de las sentencias emitidas, dejando en claro que este tipo de pruebas no son las únicas que se deben tomar en cuenta para alcanzar el estándar probatorio conocido como más allá de toda duda razonable.

5.- La propuesta presentada solo servirá en tanto la ciencia no adecue sus criterios de confianza y validez ya que, al ser un área del conocimiento que se encuentra en constante avance pueden existir cambios que modifiquen la forma en cómo se entiende y atiende el mundo fáctico, por tanto con el paso del tiempo es que se debe seguir reforzando la unión entre disciplinas para obtener mejores resultados y así controlar de mejor forma la manera en que se da justicia en el país.

6.- El cambio de sistema penal inquisitivo-mixto a uno de corte acusatorio y oral, fue benéfico para toda la sociedad, pero éste deberá seguir siendo analizado para obtener los resultados que se quieren; mismos que se podrán conseguir con el arduo estudio de ambas ramas del conocimiento, logrando así una mejora dentro de los tribunales, así como dentro de la sociedad en general.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo personal que mi hermano me brindó en vida para realizar este trabajo de investigación que en su momento me ayudó a obtener mi título de licenciatura, por tal motivo se dedica el presente manuscrito para honrar su vida y muerte.

## Bibliografía

1. Guillén L.R. Breve estudio sobre los intentos de establecer en México juicios orales en materia penal. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas; 2014; p. 9.
2. C. Bowers M. Forensic Testimony Science Law and Expert Evidence. United States: Editorial Elsevier; 2014, p. 24.
3. Zariñana O. C. J. Puntos a considerar en la actuación del perito en el Sistema Penal Acusatorio. Revista Digital de la Reforma Penal Nova Iustitia. Feb 2014; (6): 28-39.
4. Tesis [A.]: I.4o.A.16 K, T.C.C., Semanario Judicial de la Federación y su Gaceta, Décima Época, tomo 3, Abril de 2013, p. 2263. Reg. digital 2003363.
5. García C. Z., Bravo G. M. E., editores. El Estado del Arte de las Ciencias Forenses en México. Ciudad de México: Tirant lo Blanch; 2017.
6. Tesis [A.]: 1a. CLXXXVII/2006 (9a.), Semanario Judicial de la Federación y su Gaceta, Novena Época, Tomo XXV, Marzo de 2007, p. 258. Reg. digital 2011608.
7. Mochán L. W., Ramírez S. A. Effectiveness of the GT200 Molecular Detector: A doble-blind test. IEEE Technology and Society Magazine, No. 2, (2017): 76-82.
8. García C. Z., Goslinga R. L. coordinadoras, Derecho y Ciencia Forense. Ciudad de México: Tirant lo Blanch; 2016.
9. Zeferín H. I. A. La prueba libre y lógica Sistema penal acusatorio mexicano. México: Instituto de la Judicatura Federal; 2016.
10. Cossío J. R. Derecho y Ciencia. México D.F.: Tirant lo Blanch; 2015.





## ARTÍCULOS DE DIFUSIÓN DEL MODELO EDUCATIVO

# Comparación del aprendizaje de los criminalistas con enfoque tradicional y socioformativo

Rubén Leonardo Guerrero Macías<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Escuela Normal Superior Federal de Aguascalientes "Profr. José Santos Valdés"

✉ leonardo.guerrero@ensfa.edu.mx

## Datos del artículo

Cita: Guerrero Macías Rubén Leonardo. 2022. Comparación del aprendizaje de los criminalistas con enfoque tradicional y socioformativo. Revista Digital de Ciencia Forense. 1(2): 99-114 pp.

Editor: Vicente Torres Zúñiga.

Recibido: 28 noviembre 2021.

Aceptado: 16 mayo 2022.

Publicado: 28 octubre 2022.

## Resumen

Se compararon los resultados al haber impartido un mismo curso a dos grupos, con el primero se manejó a través de un corte tradicional, expositivo y unidireccional, mientras de que con el otro se realizó basado en la socioformación y mediante el estudio de caso. El experimento sobre investigación-acción se desarrolló con egresados de la maestría en criminalística y de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la rúbrica analítica socioformativa, en el grupo donde los participantes dijeron no tener experiencia laboral o teórica sobre la elaboración del informe de criminalística de campo, se obtuvieron mejores niveles de desempeño, que en el grupo con participantes que ya tenían práctica en el área. Por lo tanto, se considera que, el método de estudio de caso con características socioformativas permite desarrollar mejor las competencias del perfil de egreso, porque este tipo de metodologías activas de aprendizaje, acercan al estudiante a situaciones similares a las de su campo laboral. El propósito del estudio fue identificar qué enfoque y qué metodología, permiten desarrollar de manera más eficiente el pensamiento crítico y, además, fortalecer las competencias del perfil de egreso de los futuros criminalistas. También se determinó, que el tema de la elaboración de informes periciales, permite evaluar de forma objetiva, el desarrollo de las competencias del perfil de egreso, especialmente la toma de decisiones. Lo anterior se comprobó a través de la observación cualitativa y la evaluación por competencias, realizadas en este trabajo.

**Palabras clave:** aprendizaje basado en competencias, alternativas educativas, pensamiento crítico, criminalística

## Abstract

Two groups were tested by the same course to compare results about critical thinking, in the first group the lesson was handled through a traditional, expository and unidirectional approach, while in the other the session was carried out based on the socioformative approach and through the case study. The experiment through the action research was developed with master's degree alumni in criminalistics and according to the results obtained from the socioformative analytical rubric, in the group where the participants said they had no labor or theoretical experience on the CSI report preparation, they got better results. By the assessment, it is considered that the case study method with socio-formative characteristics allows better competencies of the graduate profile development because this type of active learning methodologies brings the student closer situations to the real world. The purpose of the study was to identify which approach and which methodology allow the development of critical thinking more efficiently and, in addition, strengthen the skills of the graduate profile for future criminalists. It was also determined that the preparation of CSI reports allows the development of the competencies of the graduation profile and an accurate evaluation, especially for decision-making. The study was verified through qualitative observation and evaluation by competencies.

**Keywords:** competency-based approach, education alternatives, critical thinking, criminalistics

## Introducción

Esta investigación se sustenta en un proyecto sobre el eje de la enseñanza de la ciencia forense y en la problemática referida al desarrollo del perfil de egreso de los peritos en formación. A través de un estudio documental, de entrevistas con personas relacionadas al medio forense y durante las condiciones de la contingencia sanitaria por el virus covid-19, se detectó un área de oportunidad para implementar metodologías activas de aprendizaje en un ambiente virtual de enseñanza, para comprobar que la educación a distancia puede tener un mayor impacto en el desarrollo de competencias, en comparación con las usanzas tradicionales que usan como “vehículo innovador”, las tecnologías de la información y la comunicación.

La reflexión que se hizo a partir del escenario anterior, tuvo como punto de partida el siguiente cuestionamiento: ¿cómo enseñar ciencias forenses a los futuros peritos? En el caso concreto de la criminalística se ha observado que, en las instituciones públicas y privadas, el plan de estudios considera el desarrollo de competencias, pero, en la realidad aún se pueden observar sesiones completamente expositivas y anecdóticas, muy a pesar del uso de la tecnología y es que, impartir un tema o un contenido a través de una computadora y un proyector, no se convierte en una metodología innovadora, al contrario, la clase se encarece y produce los mismos resultados cognitivos básicos.

Otro aspecto observado en la formación académica de criminalistas, está relacionado con la expectativa de la sociedad, donde la usanza es que las sesiones referidas a las disciplinas que conforman la criminalística, sean un observatorio de fotografías de difuntos envueltos en hechos violentos o sospechosos, ya que estas cátedras, quedan en un nivel cognitivo descriptivo, dejando de lado la comprensión, el análisis y la síntesis; de manera que en dichas clases, se evidencia la falta de incorporación de teorías pedagógicas como la de los estilos de aprendizaje, la carencia de estrategias como el aprendizaje basado en proyectos y en competencias y la escasez de corrientes teóricas como la constructivista, por ejemplo.

Según lo exponen Irigoyen, Jiménez y Acuña (1) la formación académica en criminalística, debe modificar sus métodos de enseñanza, no es recomendable mantener el modelo que únicamente transfiere contenidos. Es imperativo entonces, fomentar que el criminalista en formación ejercite el pensamiento crítico, para que otorgue un sentido práctico a sus conocimientos y habilidades.

Actualmente en el ámbito educativo, el uso de nuevas metodologías constructivistas permite preparar a los estudiantes para situaciones profesionales (2), las cuales se encuentran mucho más próximas a las competencias enunciadas en el plan de estudios de los criminalistas, en contraste con las metodologías tradicionales que dejan de lado las habilidades y las actitudes del estudiante, para centrarse en la memorización de la información. También es importante reconocer que, en la educación a distancia, aunque se utilicen

las tecnologías, esta puede caer en una dinámica improductiva al contar con un profesor cuyo discurso sea unidireccional y que además se mantenga en clase, sin aplicar metodologías activas, sin seguir un enfoque didáctico y sin promover un verdadero ambiente virtual de aprendizaje por medio del enfoque socioformativo.

### *Antecedentes*

Un cambio importante en México para la educación actual en el ámbito de la criminalística ocurrió durante 2008, cuando se aprobó la reforma al Artículo 20 del Capítulo I de los Derechos Humanos y sus garantías del Título Primero de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, pues estableció que el proceso penal sería de modo acusatorio y oral. Este sistema tiene su fundamento en la investigación científica y recalca la necesidad de contar con profesionales que, de acuerdo con su formación y sus antecedentes laborales, puedan acreditarse para presentar los dictámenes periciales ante el Juez o el Ministerio Público, hecho que incrementa la necesidad de expandir la oferta educativa en formación y en capacitación, especialmente en criminalística.

Es una necesidad y una obligación para los catedráticos de las ciencias forenses, incursionar en las teorías y en las propuestas pedagógicas que, los expertos actuales en educación plantean para convertir al estudiante, en el centro de su propio aprendizaje, puesto que al emplearlas, pueden romper con las cátedras anecdóticas que tienen como límite, el desarrollo de procesos cognitivos básicos (por ejemplo: conocer, comprender y en el mejor de los casos, aplicar), de forma que puedan desarrollar en los estudiantes durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, competencias que les permitan, a través de habilidades superiores del pensamiento (analizar, evaluar, sintetizar, etcétera) (3), resolver problemas, mediante el análisis de casos, así como abordar las cuestiones de la investigación científica y llevarlas al contexto del derecho.

Entonces, al ser conscientes de la pasividad con la que se ha llevado a cabo la investigación didáctica para la enseñanza de las ciencias forenses en nuestro país y tras observar que las formas de impartición actual de una clase son obsoletas, según las nuevas características que conforman al sistema penal acusatorio en su modalidad de juicios orales, el siguiente paso es llevar a la formación forense, hacia una congruencia pragmática, que permita hacer uso de un enfoque pedagógico conveniente, como el socioformativo, para formar nuevas generaciones de profesionales competentes y con ello lograr responder a las exigencias de dicho sistema, además de desarrollar herramientas cognitivas propias para la resolución de problemas reales.

Estos antecedentes exigen la formación social de profesionales con pensamiento crítico y con la capacidad para tomar decisiones, por eso es importante y necesario, desde la perspectiva legal y social, para el desarrollo del conocimiento técnico y científico, que el catedrático forense adopte esa pedagogía que “promueve la movilización de conocimientos, habilidades y

valores, por lo que representa una oportunidad inmejorable para desarrollar y evaluar –formativamente– competencias forenses” (4, p. 244). Por lo anterior, es inadmisibles continuar formando criminalistas para el siglo XXI con profesores del siglo XX, a través de metodologías de enseñanza del siglo XVII.

## Metodología

Es necesario que la formación de los criminalistas se someta al escrutinio educativo para determinar cuál método de enseñanza-aprendizaje, fortalece significativamente el análisis sustentado. Si bien las ciencias forenses han sido transmitidas mediante prácticas mecanizadas, es necesario investigar: ¿cuál enfoque educativo fortalece el pensamiento crítico del criminalista?, además, ¿en qué evidencia o producto se puede valorar el desarrollo del pensamiento crítico y de las competencias del perfil de egreso? Tras estos cuestionamientos, se propuso como hipótesis de este documento lo siguiente:

*H1: Si se fortalece el pensamiento crítico de los estudiantes de criminalística por medio de estudios de caso desde el enfoque socioformativo, se favorece el desarrollo de las competencias del perfil de egreso y estas se pueden evidenciar mediante la evaluación de informes de criminalística de campo.*

Tras considerarse las condiciones de distanciamiento físico como medida preventiva por la propagación del virus covid-19, la educación a distancia por medio de herramientas digitales se ha puesto a prueba por necesidad. En este sentido y para la formación a distancia de criminalistas, es necesario asegurar la creación de ambientes virtuales de aprendizaje.

En la sociedad de la información, los conocimientos teóricos y científicos sufren constantes cambios, y, el pensamiento crítico se ha vuelto fundamental para analizar la enorme cantidad de información disponible, pues es por medio de este, que se filtran los datos para seleccionar solo lo sustancial según las necesidades de quien investiga. Asimismo, “el pensamiento crítico permite la comprensión de problemas complejos y la construcción de opiniones propias” (5, p. 10), es decir, el individuo puede detectar cuándo un contenido es válido o verdadero y con ello, desarrollar criterios para el uso apropiado del conocimiento, en cualquier área de su vida.

Para efectos de esta investigación, se considera que “el pensamiento crítico es un proceso metacognitivo que a través de la estimulación y coalición de ciertas habilidades, disposiciones y conocimientos nos ayuda a elaborar un juicio premeditado e introspectivo que nos dirige hacia la acción o resolución del problema de manera eficaz y eficiente” (5, p. 13).

En otras palabras “no es posible enseñar por medio del pensamiento crítico sin una cierta conciencia de estos rasgos”, por lo tanto, en términos educativos, “el pensamiento crítico es una habilidad aprendida” (5, p. 14) que se debe poner en práctica de manera constante en las dimensiones individual y social, en condiciones transferibles a situaciones de la vida cotidiana, y, por tal motivo, favorecer la metacognición es uno de los principales objetivos en la enseñanza de las ciencias forenses. Así, la probabilidad de que el estudiante pueda generalizar lo aprendido de forma escolarizada a partir de ciertas prácticas, dependerá de qué tan semejantes sean los ejemplos, con los casos que el profesional enfrentará en contextos reales.

Si se considera lo anterior, la teoría que más fundamenta el aprendizaje de la criminalística, según los contenidos que en esta se abordan y por las competencias que pueden llegar a desarrollarse es la constructivista, ya que su método de práctica se realiza por medio de la enseñanza por indagación y del aprendizaje por descubrimiento. “La enseñanza por indagación permite que los estudiantes aprendan, al mismo tiempo, sobre el contenido y el proceso que han llevado a cabo para solucionar los problemas planteados por los docentes” (6, p. 9).

Por un lado, esta teoría desarrolla en el profesional, la capacidad de investigar, de establecer hipótesis y de encontrar las relaciones de causa y efecto que lo lleven a un resultado, tal cual se hace en la investigación criminal; por el otro, en el aprendizaje por descubrimiento, los profesores no deben explicar la relación (7) de los indicios, con el resultado del informe, lo cual es fundamental en la criminalística.

Al respecto, el enfoque socioformativo es un paradigma pedagógico innovador y óptimo para la didáctica de la criminalística, esta afirmación se sustenta en los resultados de las investigaciones realizadas en formación de estrategias de aprendizaje, que favorecen la construcción de estructuras cognitivas de orden superior en posgrados y en la educación judicial.

Ahora bien, el enfoque socioformativo está íntegramente orientado a formar personas con un proyecto ético de vida sólido, en el marco de relaciones colaborativas con otras personas, afrontando los retos actuales y futuros del contexto, contribuyendo al desarrollo organizacional, al crecimiento de la economía, al fortalecimiento de la cultura y al equilibrio ecológico-ambiental, además de cubrir las necesidades personales y sociales a partir de metas y valores (8).

En el enfoque socioformativo existen parámetros para el diseño de estudios de casos y para Pimienta (9) constituye una metodología que describe un suceso real o simulado y además complejo, con la finalidad de aplicar conocimientos y habilidades para resolver un problema. También, se utilizan las rúbricas socioformativas analíticas que “son instrumentos para evaluar productos de desempeño mediante niveles de actuación y descriptores, considerando una serie de indicadores y el abordaje de un problema del contexto”

(10, p. 83). Tales rúbricas son pertinentes para la evaluación de competencias forenses porque evidencian el nivel de logro o desempeño a través de una taxonomía socioformativa y aportan datos objetivos sobre la calidad del proceso de consolidación del perfil de egreso (11).

Con este tipo de evaluación se sugiere combinar una metodología didáctica como el estudio de casos, en la cual el docente de criminalística puede plantear una situación hipotética muy cercana a la realidad que enfrentan los peritos. Tobón (8) ha desarrollado el análisis de casos con problemas del contexto, para desarrollar el talento y el mejoramiento continuo de las personas, para afrontar los retos de la sociedad del conocimiento, este método consiste en presentar un caso y formular preguntas con diferentes niveles de dominio, determinadas por indicadores como la identificación, la interpretación y la argumentación.

Un profesor de criminalística al enseñar cómo se elaboran los informes periciales, puede determinar los indicadores que se quieren valorar, por ejemplo: los estudiantes conocen la información elemental para identificar los problemas; son capaces de resolver problemas en sus aspectos clave con comprensión de la información y dominio de conceptos esenciales; pueden argumentar y resolver problemas con distintas variables; pueden emplear fuentes confiables para buscar la eficacia y la eficiencia de su investigación; saben aplicar estrategias creativas y de transversalidad en la resolución de problemas para afrontar la incertidumbre y el cambio.

El informe de criminalística de campo es el documento con el cual el perito ofrece los datos de la exposición de los hechos para hacer del conocimiento a agentes y jueces, de los indicios observados en el lugar de intervención (12). En el desarrollo de este estudio, se utilizó al informe criminalístico como vehículo para comprobar, si la metodología dentro del enfoque socioformativo, realmente puede desarrollar competencias forenses y el pensamiento crítico en dos grupos de estudiantes.

Sin embargo, para evaluar un informe como tal, no existe un formato homologado para los informes de criminalística de campo (13) y no es posible estandarizar el fondo o el contenido porque, cada intervención o lugar en donde se suscitaron los hechos, tiene sus características particulares. Ahora bien, existen ciertos apartados que son necesarios para orientar el trabajo de investigación como el objeto del informe, la metodología empleada, los datos preliminares del lugar, el proceso de observación, descripción, fijación y embalaje de los indicios, la remisión de indicios y los resultados de la intervención. A partir de esos elementos sustantivos, fue posible evaluar los niveles de desempeño de los criminalistas con respecto a su pensamiento crítico.

Dado que los procesos de formación de criminalistas son una situación cotidiana que necesitan de una propuesta pedagógica fundamentada a la brevedad, el diseño que sustenta este trabajo de investigación cualitativa es la investigación-acción porque precisamente, su finalidad “es resolver



problemas cotidianos e inmediatos” (14, p. 509). Los datos se recolectaron a través de instrumentos específicos y diseñados para este estudio: evaluación diagnóstica por medio del registro de participantes, ficha de observación para dar seguimiento al trabajo docente, rúbrica socioformativa analítica sobre el informe pericial y el cuestionario para el grupo de discusión sobre la formación de criminalistas.

La estrategia de esta investigación implicó impartir a dos grupos por medio de Google Meet, un curso a distancia (15) sobre la elaboración de informes, cada uno con dos dinámicas diferentes. Para dejar evidencia de lo realizado y a su vez, contar con elementos que permiten la interpretación de los sucesos, se optó por videgrabar las sesiones del curso y utilizar la técnica de la observación. Como complemento a la información observada se utilizó una rúbrica analítica de evaluación por competencias, con la cual se interpretó el nivel de desarrollo de competencias, así mismo, se aplicó una evaluación diagnóstica sobre la elaboración de informes al inicio del curso, para comparar los resultados con la evaluación sumativa. Este instrumento de evaluación permitió el análisis del impacto de la clase tradicional y del uso del estudio de casos desde la socioformación en un ambiente virtual de aprendizaje.

La rúbrica analítica de evaluación por competencias puede evaluar cada uno de los apartados del informe pericial: exordio o proemio; objeto del informe; metodología empleada; datos preliminares del lugar; observación, descripción, fijación, recolección, embalaje y etiquetado de indicios; consideraciones; remisión de indicios; resultados de la intervención y cierre. Cada apartado funge como indicador y se describen las características de cada uno que permitan categorizar el nivel de dominio de acuerdo a la taxonomía socioformativa propuesta por Tobón (9):

- Preformal: aunque pueda haber algún avance, este no corresponde con el tipo de desempeño esperado.
- Receptivo: tiene algunas nociones y acercamientos al desempeño evaluado.
- Resolutivo: posee los elementos básicos del desempeño evaluado.
- Autónomo: tiene análisis y criterio en el desempeño evaluado.
- Estratégico: presenta creatividad y estrategias de cambio en el desempeño.

Este tipo de evaluación es muy completa porque en ella se integra lo cualitativo con lo cuantitativo generando instrumentos adecuados en función de las competencias (9). La objetividad de la valoración por medio de este enfoque recae en las evidencias formales y en el juicio valorativo sustentado en los indicadores de desempeño; y que, ante todas estas características, es una evaluación humanista que se centra en el desempeño de los estudiantes para la solución de problemas.

Este instrumento tiene muchas bondades, pues facilita la tarea docente en la valoración del desempeño y reconoce el esfuerzo propiciado por el interés y motivación del estudiante porque se toman en cuenta múltiples variables en el desempeño y no solo los aprendizajes memorizados, de hecho, el proceso está enfocado en la toma de decisiones conjuntas para la mejora del desempeño y, lo más importante es que el alumno es participe de su propio aprendizaje. Además, “su aplicación continua permite conocer paso a paso las fortalezas y dificultades de cada alumno y favorece que el docente adecúe estrategias metodológicas [..], para facilitar los aprendizajes” (11).

**Tabla 1.** Rúbrica analítica: Informe Pericial.

Producto:	Valor: 50%
Informe pericial de la Carpeta de Investigación: CI/AGS/2507/02-20; solicitado por el LIC. JUAN DE LAS CUERDAS PÉREZ, de la A.M.P. UNIDAD DE HOMICIDIO	
Instrucciones:	
1. A continuación, encontrará un caso, revise muy bien el caso que se propone hasta que lo comprenda.	
2. Observe el video “Escena Del Crimen SketchUp” de González (2017) y tome capturas de pantalla para fijar digitalmente los indicios. Se recomienda reproducir el video sin sonido. <a href="https://www.youtube.com/watch?v=_THMisikOtE">https://www.youtube.com/watch?v=_THMisikOtE</a>	
3. Redacte un informe pericial de Criminalística de Campo donde se tiene conocimiento de la existencia del cadáver de un hombre quien en vida llevara el nombre de Emiliano Flores Domínguez con énfasis en la:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación y descripción del lugar.</li> <li>• Observación y descripción de los indicios.</li> </ul>	
Estudio de caso:	
Aproximadamente a las 5:00 horas del 2 de julio del año 2020, se reporta vía frecuencia la presencia de una persona sin vida en el domicilio marcado con el número 317 de la calle Artículo 3, en la colonia Loma Bonita del Municipio de Aguascalientes, en el Estado de Aguascalientes. Siendo las 6:00 horas de la misma fecha se constituye el criminalista en dicho domicilio.	
El cadáver es de sexo masculino, se encuentra sobre una cama matrimonial. En el lugar de intervención se encuentra un arma de fuego tipo pistola, una mancha, varios casquillos percutidos calibre 9 mm, un orificio de bala en una pared, un teléfono celular, una computadora portátil y una revista. No hay indicios de puertas o ventanas forzadas. La inspección se realiza en un área de 4 x 5 metros, en la cual se levantan huellas del arma de fuego y se realizan múltiples fijaciones fotográficas en soporte digital.	
Al comenzar las investigaciones doce horas después de la remisión de indicios por parte del criminalista, el médico forense el Dr. Armando García Bailón informa a las 21:00 horas que se observan como signo de violencia heridas por arma de fuego. No presenta lesiones de defensa. <sup>9</sup>	
La químico forense Anahí Gómez Santoyo informa a seis horas de la remisión de indicios a las 15:00 horas que se realizó la prueba de rodizonato de sodio y dio positivo en la mano derecha, además dio positivo al examen de alcoholemia (194 mg%).	
Siendo las 9:46, 9:52, 9:56, 10:00, 10:03, 10:06, 10:08, 10:12, 10:16 y 10:25 horas del mismo día, se remite al C. Adrián Nevares Reyes, encargado de la bodega de evidencias de la Fiscalía General del Estado, los indicios marcados como 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10 mediante registro de cadena de custodia.	
Los agentes investigadores con ayuda del psicólogo forense informaron las siguientes características de la víctima: Su nombre fue Emiliano Flores Domínguez de 28 años de edad, residía a varios kilómetros del lugar de intervención, de ocupación contador en una empresa automotriz, graduado de la universidad autónoma. No tenía antecedentes penales, era querido por sus familiares y amigos, era selectivo en su círculo de amistades, nunca se le conoció esposa ni hijos, era independiente, retraído, encerrado en sí mismo, exteriorizaba poco sus problemas, lo visitaban con poca frecuencia y recibía a sus amistades fuera del domicilio, era fumador crónico, ingería bebidas alcohólicas los fines de semana lo cual le afectaba su estabilidad psíquica mostrando en ocasiones irritabilidad con sus amigos sin llegar a la violencia física.	
Al interrogar a la dueña del inmueble la Sra. María del Socorro Gómez Huerta dice desconocer al occiso y declara que ese inmueble lo renta al Sr. Víctor Martínez Martínez de 41 años de edad quien trabaja en ventas de cambaceo.	
Al interrogar al Sr. Víctor Martínez Martínez declara que el occiso era un amigo que conoció por otras amistades en común, que tenían una relación de confianza y que él le prestaba las llaves de la casa para organizar convivencias. El Sr. Víctor Martínez Martínez señala que ese día se encontraba en la ciudad de Monterrey por una cita de trabajo. Declara que el arma de fuego es de la propiedad de Emiliano Flores Domínguez, y este levantó una denuncia por robo al percatarse que faltan objetos de valor de su vivienda.	

Indicadores integrados	Receptivo (2 puntos)	Resolutivo (4 puntos)	Autónomo (9 puntos)	Estratégico (11 puntos)
Exordio	Presenta un escrito sin formato donde se recuperan algunos de los datos de identificación: Numero de Carpeta de Investigación; Asunto: INFORME DE CRIMINALÍSTICA; Fecha y lugar; y A quien va dirigido el informe pericial	Presenta su escrito en formato de oficio donde se incluyen la mayoría de los datos de identificación: Numero de Carpeta de Investigación; Asunto: INFORME DE CRIMINALÍSTICA; Fecha y lugar; y A quien va dirigido el informe pericial	Presenta su escrito en formato de oficio donde se contextualizan todos los datos de identificación: Numero de Carpeta de Investigación; Asunto: INFORME DE CRIMINALÍSTICA; Fecha y lugar; y A quien va dirigido el informe pericial	Presenta su escrito en formato de oficio donde se vinculan todos los datos de identificación sin faltas de ortografía o errores: Numero de Carpeta de Investigación; Asunto: INFORME DE CRIMINALÍSTICA; Fecha y lugar; y A quien va dirigido el informe pericial
Objeto del informe	Se recupera por escrito algunos de los siguientes elementos: la designación o comisión del cargo; el tipo de documento (dictamen o informe) solicitado; la dirección del lugar de la intervención y el tipo de diligencia.	Se incluye por escrito la mayoría de los siguientes elementos: la designación o comisión del cargo; el tipo de documento (dictamen o informe) solicitado; la dirección del lugar de la intervención y el tipo de diligencia.	Se contextualiza por escrito todos los siguientes elementos: la designación o comisión del cargo; el tipo de documento (dictamen o informe) solicitado; la dirección del lugar de la intervención y el tipo de diligencia. Presenta las credenciales que respaldan la preparación y competencia del perito.	Se vinculan por escrito con claridad, sin errores o faltas de ortografía todos los siguientes elementos: la designación o comisión del cargo; el tipo de documento (dictamen o informe) solicitado; la dirección del lugar de la intervención y el tipo de diligencia. Presenta las credenciales y argumentos que respaldan la preparación y competencia del perito.
Metodología empleada	Describe un listado sin orden lógico que sintetizan los pasos empleados para la elaboración del documento, este listado no es congruente con los apartados presentados	Categoriza un listado que sintetizan los pasos empleados para la elaboración del documento.	Integra un listado de carácter lógico que sintetizan los pasos empleados para la elaboración del documento y que es congruente con los apartados presentados.	Proyecta un listado claro y de carácter lógico que sintetizan los pasos empleados para la elaboración del documento y que es congruente con los apartados presentados.
Datos preliminares del lugar	Recupera la hora y fecha de la diligencia y del arribo del criminalista al lugar de intervención en un reconocimiento por escrito de la ubicación y descripción de las características y condiciones observadas al intervenir.	Incluye la hora y fecha de la diligencia y del arribo del criminalista al lugar de intervención en una interpretación por escrito de la ubicación y descripción de las características y condiciones observadas al intervenir.	Contextualiza la hora y fecha de la diligencia y del arribo del criminalista al lugar de intervención en una explicación por escrito de la ubicación y descripción de las características y condiciones observadas al intervenir, además incluyen fotografías del exterior, del acceso y de la zona de intervención.	Vincula la hora y fecha de la diligencia y del arribo del criminalista al lugar de intervención con una amplia reconstrucción por escrito de la ubicación y descripción de las características y condiciones observadas al intervenir, además incluyen fotografías del exterior, del acceso y de la zona de intervención. Las fotografías están referenciadas.

Observación, descripción, fijación, recolección, embalaje y etiquetado de indicios	Recupera en un listado cada uno de los indicios y se identifican por escrito de las características y condiciones observadas de cada indicio fijado, pero presenta conjeturas.	Incluye un listado de cada uno de los indicios identificados con una interpretación por escrito de las características y condiciones observadas de cada indicio fijado (sin hacer conjeturas).	Contextualiza un listado de cada uno de los indicios identificados con una explicación por escrito de las características y condiciones observadas de cada indicio fijado (sin hacer conjeturas); además incluye elementos fotográficos.	Vincula un listado de cada uno de los indicios identificados con una reconstrucción por escrito de las características y condiciones observadas de cada indicio fijado (sin hacer conjeturas); además incluye elementos fotográficos. Las fotografías están referenciadas.
Consideraciones	Se mencionan eventos que tengan peso jurídico.	Se enumera la descripción de eventos que tengan peso jurídico.	Se enumera la explicación de eventos que tengan peso jurídico de manera clara y concreta.	Se enumera la reconstrucción de eventos que tengan peso jurídico de manera clara y concreta.
Remisión de indicios	Se especifican algunos de los siguientes elementos: a que área de periciales, a qué hora, y con qué número de identificación se remitió cada uno de los objetos fijados y embalados.	Se especifican la mayoría de los siguientes elementos: a que área de periciales, a qué hora, y con qué número de identificación se remitió cada uno de los objetos fijados y embalados.	Se especifican todos los siguientes elementos: a que área de periciales, a qué hora, y con qué número de identificación se remitió cada uno de los objetos fijados y embalados	Se especifican todos los siguientes elementos: a que área de periciales, a qué hora, y con qué número de identificación se remitió cada uno de los objetos fijados y embalados. Se menciona si se elaboró el registro de cadena de custodia.
Resultados de la intervención	En los resultados de la intervención enumera algunos de los siguientes aspectos: La descripción de las acciones realizadas de conformidad al objeto del informe; La descripción del número de indicios localizados; y la descripción del número de fotografías tomadas.	En los resultados de la intervención enumera la mayoría de los siguientes aspectos: La descripción de las acciones realizadas de conformidad al objeto del informe; La descripción del número de indicios localizados; y la descripción del número de fotografías tomadas.	En los resultados de la intervención enumera todos los siguientes aspectos: La descripción de las acciones realizadas de conformidad al objeto del informe; La descripción del número de indicios localizados; y la descripción del número de fotografías tomadas.	En los resultados de la intervención enumera todos los siguientes aspectos con claridad y precisión: La descripción de las acciones realizadas de conformidad al objeto del informe; La descripción del número de indicios localizados; y la descripción del número de fotografías tomadas.
Cierre	En el cierre del informe presenta el nombre del perito.	En el cierre del informe presenta el nombre y firma del perito.	En el cierre del informe presenta la fecha de elaboración del documento y el nombre y firma del perito.	En el cierre del informe presenta una despedida cordial, la fecha de elaboración del documento y el nombre y firma del perito.
Hetero-evaluación (Instructor)	Puntos alcanzados		Sugerencias de mejora	

La escala estimativa en la rúbrica analítica rescata los verbos de la taxonomía socioformativa, en el nivel receptivo se refiere a las competencias más elementales y se categoriza con los verbos recupera, describe y menciona que hacen referencia a la capacidad de identificar con ciertas nociones los elementos básicos de la tarea a realizar; el siguiente nivel relativo a las competencias resolutivas enmarca la evaluación con los verbos incluye, categoriza y enumera los cuales hacen alusión a las capacidades para discriminar los elementos básicos para la resolución de la encomienda. Sobre el nivel autónomo, este nivel dentro de la taxonomía habla del deber ser, es decir, de las capacidades funcionales que las personas demuestran para cumplir los objetivos de acuerdo a los parámetros esperados, en este nivel se utilizaron los verbos contextualiza, integra y explica, pero para el nivel más alto (estratégico) se emplearon los verbos vincula, proyecta y reconstruye que se aplican a las personas que van más allá del deber y que evidencian un desempeño sobresaliente.

En los indicadores de la remisión de indicios y los resultados de la intervención se utilizó una escala estimativa que se diferencia por rangos de acuerdo con la integración de los elementos que competen en dichos apartados, esta escala es: algunos, la mayoría, todos y todos con claridad y precisión. En la lógica del sistema de evaluación la columna del nivel autónomo se revisa que se cumpla correctamente la actividad. Sin embargo, en el nivel estratégico la actividad es cumplida, pero con mayor calidad, en este sentido esa es la diferencia entre un nivel y otro.

Por último, como técnica adicional, se realizó una reunión posterior en Google Meet de los dos grupos implicados en el experimento, para realizar un grupo de discusión por medio de preguntas guiadas y detonadoras para llevar a cabo un debate, el cual se videograbó con la finalidad de registrar las perspectivas, las opiniones y los resultados de los participantes.

El total de sujetos involucrados en esta investigación fue de 20 exalumnos de la maestría de criminalística del Instituto Estatal de Seguridad Pública del Estado de Aguascalientes (IESPA) divididos en dos grupos de 10 integrantes.

El temario del curso se dividió en unidades las cuales se identifican como: Unidad I. Antecedentes legales de la prueba pericial; Unidad II. Marco jurídico del Sistema Penal Acusatorio; Unidad III. El Proceso Penal Acusatorio; Unidad IV. Estructura de forma del informe pericial de criminalística de campo. La duración para cada sesión fue de cinco horas y el curso se impartió en una sola clase. Las fechas para la experimentación fueron: para el grupo 1, el sábado 15 de agosto de 2020 de 9:00 a 14:00 h y para el grupo 2, el sábado 22 de agosto de 2020 de 9:00 a 14:00 h.

## Análisis y Discusión

En el grupo 1, de acuerdo con la evaluación realizada por medio de la ficha de observación y para dar seguimiento al trabajo docente, las estrategias de enseñanza utilizadas para promover el desarrollo de las competencias, se consideraron como malas porque, se abusó de la exposición por parte del maestro, además, no se implicaron actividades prácticas por lo que el participante tuvo un rol receptivo. La intervención didáctica se considera también mala porque, al inicio de la sesión, la activación de los saberes previos fue básica y sin reflexión de los conocimientos. Con respecto a: si los estudiantes están involucrados en el proceso de aprendizaje, también se consideró mala porque la participación de los estudiantes fue muy limitada.

Con respecto al grupo 2, es importante retomar que, el profesor al inicio de la sesión, preguntó sobre los saberes previos de los participantes y durante el desarrollo los motivó a participar constantemente, por lo que varios de los estudiantes tuvieron la oportunidad de compartir sus saberes previos, sus dudas e interpretaciones del contenido e incluso, algunos de ellos compartieron el avance de sus proyectos y tuvieron la oportunidad de aprender de los demás, al final todos compartieron y socializaron lo que habían aprendido durante el curso.

Desde el inicio de la sesión 2, se explicó cuál era el propósito del curso y la metodología utilizada para tal fin, así que se abordó el estudio de caso y se solicitó el análisis de la información, para desarrollar activamente proyectos donde los participantes aplicaron los contenidos del curso. Se utilizaron diferentes formatos como documentos de texto, imágenes, videos y diapositivas; desde el inicio se explicaron las características del producto por medio de la rúbrica y se destinó tiempo de la sesión para que los participantes avanzaran en sus proyectos.

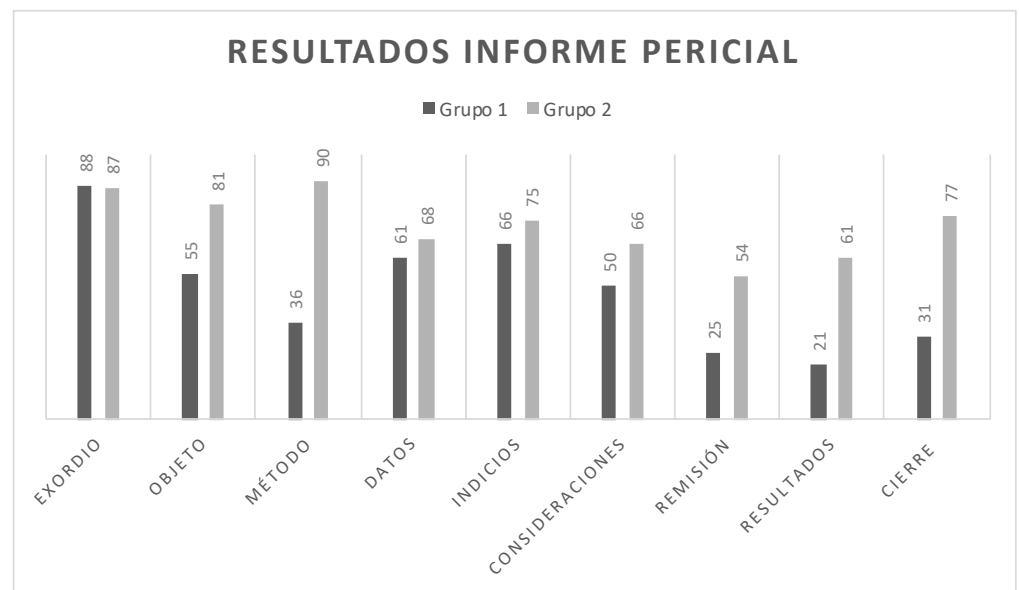
Los resultados del primer instrumento muestran que se aplicaron metodologías diferentes en cada sesión. Como se mencionó, la primera sesión se llevó a cabo por medio de una exposición unidireccional de carácter tradicional, donde se anuló la participación de los estudiantes y en la que solo al final, se pidió que realizaran la tarea para tener derecho a la constancia del curso. En la segunda sesión, se utilizó el estudio de casos y se promovió con frecuencia la participación. De esta manera fue posible identificar si las diferencias en la actuación del profesor, tenían impacto en los resultados de cada grupo.

De acuerdo con lo manifestado en el diagnóstico, la mayoría de los participantes en el grupo 1 de este experimento (62.5%), consideran dominar la elaboración de informes periciales, luego, el 87.5% dijo tener experiencia en la elaboración de informes e incluso, la mayoría de los participantes en el grupo 1 (75%) dijo trabajar en la Dirección General de Servicios Periciales del Estado. Una característica particular de los participantes del grupo 2 es que, ninguno de ellos dijo tener experiencia en la elaboración de informes de criminalística de

campo o haber ejercido profesionalmente para la Dirección General de Servicios Periciales del Estado, por tanto, se infiere que no han desarrollado experiencia laboral en una práctica profesional real.

De acuerdo con la información anterior, se esperaba que el grupo 1, tuviera un mejor desempeño dentro de la experiencia de investigación porque sus antecedentes en el trabajo pericial, avalarían, si fuera el caso, su ejercicio en la práctica, sin embargo, no fue así. En los resultados de la evaluación por medio de la rúbrica analítica para esta actividad y en comparación con los resultados del diagnóstico se evidencia cómo el grupo 2, obtuvo mejores niveles de desempeño en la elaboración del informe pericial, aún sin la experiencia real.

Para analizar la hipótesis, el experimento basó sus resultados en una tarea evaluativa que implica la elaboración de un informe pericial en la materia de criminalística de campo. Se evaluaron las producciones de todos los participantes de acuerdo con los parámetros establecidos en una rúbrica, que mide el nivel de desempeño en cada apartado de este documento pericial. Al grupo 1 se le explicó la elaboración de dicho documento, mediante una exposición unilateral emulando la metodología tradicional, mientras que con el grupo 2, se desarrolló el mismo tema, por medio de un estudio de caso y fomentando la participación, para la elaboración del mismo proyecto.



**Figura 1.** Niveles de desempeño. Se observa que el grupo 1 donde estuvieron los exalumnos con experiencia laboral, durante la elaboración de informes de criminalística de campo, en promedio quedaron rezagados en los apartados del informe, pues, se requiere del pensamiento crítico para dicha tarea. En cambio, se presentan los indicadores de los niveles de desempeño del grupo 2, es decir, de los exalumnos que no tienen experiencia laboral, pero que, aprendieron a elaborar informes periciales, mediante un estudio de casos y a partir de las características del enfoque socioformativo.



Un apartado muy importante en la tarea evaluativa y para la rúbrica socioformativa fue el que evalúa el apartado del informe pericial de criminalística de campo, es decir, donde se documenta la información sobre la observación, descripción, fijación, recolección, embalaje y etiquetado de indicios, y es que, en este se evalúa el pensamiento crítico utilizado para la reconstrucción por escrito de las características y condiciones observadas de cada indicio fijado.

Los indicadores para este apartado se centran en el listado de cada uno de los indicios identificados y que estos contengan una reconstrucción por escrito de las características y condiciones observadas en el lugar de intervención. Al respecto, se observa que el grupo 2 superó por 9 puntos al grupo 1. Nueve puntos de diferencia parecen poco significativos, sin embargo, se debe considerar que en el grupo 2, los participantes dijeron no tener experiencia en la elaboración de este tipo de documentos.

Por lo tanto, se considera un gran avance porque lograron superar a los participantes con experiencia, de este modo, se analiza que al fortalecer el pensamiento crítico por medio de una metodología activa para el aprendizaje como el estudio de casos, es posible desarrollar las competencias de personas sin experiencia de campo, con el objeto de que estas logren equiparar o superar a las personas con experiencia.

El apartado de consideraciones también resulta importante para valorar el fortalecimiento del pensamiento crítico utilizado para la reconstrucción de eventos que tengan peso jurídico de manera clara y concreta, aquí el participante debe comprender, analizar y decidir, qué aspectos de la intervención deben ser incluidos. De acuerdo con las características del ejercicio y con los parámetros establecidos en la rúbrica, el grupo 2 superó por 16 puntos al grupo 1, esto permite interpretar que el pensamiento crítico por medio del estudio de casos, favoreció a los participantes del grupo 2, permitiéndoles tomar mejores decisiones en comparación con los resultados del grupo 1, quienes se vieron limitados en el análisis de la información, por el tratamiento pasivo que se les impuso en la sesión.

En el apartado de remisión de indicios, el grupo 2 superó al grupo 1 por 29 puntos y en el apartado de los resultados de la intervención, el grupo 2 superó por 40 puntos al grupo 1. Con respecto al cierre, el grupo 2 superó por 46 puntos al grupo 1, lo cual evidencia que el grupo 2, desarrolló más sus competencias para el manejo de la información.

En esta tarea evaluativa el grupo 2 que, de acuerdo con la información de los formularios del registro y la evaluación diagnóstica, tenía una expectativa poco prometedora, superó al grupo 1, aunque no elaboraron informes sin deficiencias de forma, es decir, que de acuerdo con la rúbrica analítica no todos alcanzaron el nivel de desempeño estratégico, que es el nivel más alto, se determina que, al implementar metodologías que fortalezcan el pensamiento crítico, permiten desarrollar competencias que acercan a los estudiantes a realizar tareas propias de su función forense con mayor calidad y eficiencia.

## Conclusión

Se comprobó que fortalecer el pensamiento crítico de los estudiantes de criminalística por medio de estudios de caso, favorece el fortalecimiento de las competencias del perfil de egreso. Sobre las preguntas de investigación: ¿cuál enfoque educativo fortalece el pensamiento crítico del criminalista?, y, ¿en qué evidencia o producto se pueden valorar las competencias del perfil de egreso y del desarrollo del pensamiento crítico? los resultados de esta investigación comprueban que, el enfoque de la socioformación fortaleció el pensamiento crítico de los exalumnos de la maestría en criminalística del IESPA y fue posible evaluar las competencias del perfil de egreso, utilizando el informe de criminalística de campo.

Es necesario implementar de manera continua, estrategias de aprendizaje donde los estudiantes participen activamente bajo la orientación de un profesor, no bajo el enfoque de una cátedra tradicional. De acuerdo con la hipótesis de este trabajo se comprueba que, la metodología de estudio de caso socioformativo, permite alcanzar mejores niveles de desempeño en la elaboración de informes de criminalística de campo, especialmente en las secciones de las tareas evaluativas que evidencian la toma de decisiones.

A partir del análisis llevado a cabo, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Es plausible implementar el enfoque socioformativo en el área de la criminalística para desarrollar de manera eficiente las competencias del perfil de egreso.
2. Es urgente erradicar la didáctica basada en modelos tradicionalistas donde permea la memorización y la comunicación unilateral.
3. La rúbrica socioformativa analítica ha demostrado ser útil para evaluar el pensamiento crítico y las competencias el perfil de egreso de estudiantes criminalistas.

Por lo tanto, es imperativo investigar más para generar las líneas epistemológicas, pedagógicas y metodológicas de un modelo de formación para criminalistas y forenses en México, basado en el enfoque socioformativo enfocado en el desarrollo del pensamiento crítico, ya sea de forma presencial o por medio de la educación virtual.

## Bibliografía

1. Irigoyen, Juan José, Jiménez, Miriam Yerith, Acuña, Karla Fabiola. Competencias y educación superior. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*. 2011;16(48):243-266.
2. Barbara, Bruns y Luque, Javier. *Docentes excelentes: Cómo mejorar el aprendizaje en América Latina y el Caribe, resumen*. Washington, DC: Banco Mundial; 2014.
3. Balbuena Corro, Hugo (coord.). *Las estrategias y los instrumentos de evaluación desde el enfoque formativo*. México: SEP; 2006.
4. Sosa Reyes, Ana María. Del Laboratorio al Juzgado. *Enseñanza de Las Ciencias Para El Ejercicio Forense. Educación Química*, vol. 28, no. 4, Oct. 2017, pp. 238-245.
5. Morancho MV i, Mantilla JMR. Pensamiento Crítico: conceptualización y relevancia en el seno de la educación superior. *Revista de la Educación Superior*. Ene. 2020;49(194):9-25.
6. Pimienta, Julio. *Metodología Constructivista. Segunda Edición*. México: Pearson; 2007
7. Perrenoud, Philippe. *Construir competencias desde la escuela*. Francia: JC Sáez editor; 1997
8. Tobón, Sergio. *Ejes esenciales de la sociedad del conocimiento y la socioformación*. <https://cife.edu.mx/>. 2017.
9. Pimienta, Julio. *Estrategias de enseñanza-aprendizaje Docencia Universitaria basada en competencias*. México: Pearson; 2012
10. Tobón, Sergio, Pimienta, Julio, García, Juan Antonio. *Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias*. México: Pearson Educación; 2010
11. Tobón, Sergio. *Formación integral y competencias. Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación*. Bogotá: ECOE. 2013.
12. Juventino Montiel Sosa. *Criminalística 3*. México: Limusa; 2011.
13. Cortez, Domingo. *Estructura de fondo de todo dictamen pericial forense*. México: Gallardo Ediciones; 2017
14. Hernández, Roberto, Fernández, C, Baptista, Pilar, Méndez, S, Paulina C. *Metodología de la investigación*. 6th ed. México, D.F.: Mcgraw-Hill Education; 2014.
15. Reina DM, La Serna NB. Revisión sistemática sobre el estado del arte de las metodologías para M-learning. *Revista ESPACIOS*. 2020 Feb 27; 41(06).



## ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN/ DIFUSIÓN

# La bioinformática en las ciencias forenses

Guadalupe María Silva Peña<sup>1\*</sup>, Julio César Cabrera Hernández<sup>2</sup>, Maritere Domínguez Rojas<sup>1</sup>

## Adscripción:

<sup>1</sup> Facultad de Estudios Superiores  
Cuautitlán.

<sup>2</sup> Unidad de Servicios Periciales en Materia  
de Secuestro de la Fiscalía General del  
Estado de Michoacán.

\* mariesilvahp@gmail.com

## Datos del artículo

Cita: Silva Peña Guadalupe María,  
Cabrera Hernández Julio César,  
Domínguez Rojas Maritere. 2022.  
La bioinformática en las ciencias  
forenses. Artículo de difusión/  
divulgación. Revista Digital de  
Ciencia Forense. 1(2): 115-123 pp.

Editor: Vicente Torres Zúñiga.

Recibido: 25 febrero 2022.

Aceptado: 11 mayo 2022.

Publicado: 28 octubre 2022.

## Resumen

La bioinformática es un área emergente e interdisciplinaria que permite aplicar herramientas de la informática al estudio y la gestión de datos biológicos. Se decidió investigar y recopilar información acerca de las herramientas bioinformáticas y bases de datos de DNA forense tanto a nivel mundial como nacional, buscando dar a conocer la mayor información acerca de éstas y la forma en que trabajan, con el objetivo presentar las más favorables. Se realizó una búsqueda en diversos medios, lo que permitió una evaluación crítica y se pudo realizar una síntesis de estudios relevantes sobre el uso de la bioinformática en las ciencias forenses. Además, se identificaron y describieron las herramientas bioinformáticas y las bases de datos forenses principales utilizadas a nivel mundial y nacional. Finalmente, se puede concluir que el uso de las herramientas bioinformáticas dentro de las ciencias forenses es fundamental y se ve determinado por el acceso a las tecnologías de cada laboratorio forense; que, de igual forma se encuentra estrechamente relacionado con el presupuesto y disponibilidad de materiales con los que se cuentan. Además, la existencia de una base de datos forense es primordial para cualquier país, ya que es una herramienta valiosa en la identificación de restos, y en la resolución de crímenes. En México, existen varias bases de datos, pero desafortunadamente ninguna ha sido homologada para su uso a nivel nacional, lo que dificulta mucho el trabajo de identificación y la consecuente administración de la justicia.

**Palabras clave:** bioinformática, bases de datos, forense.

## Abstract

Bioinformatics is an emerging and interdisciplinary area that allows the application of informatics tools to study and manage biological data. It was decided to investigate and collect information about bioinformatics tools and forensic DNA databases, both globally and nationally, seeking to publicize the most information about them and how they work, aiming to present the most favorable ones. A search was carried out in various media, which allowed a critical evaluation and a synthesis of relevant studies on the use of bioinformatics in forensic sciences. In addition, the main bioinformatics tools and forensic databases used globally and nationally were identified and described. Finally, it can be concluded that the use of bioinformatics tools within forensic sciences is essential and is determined by access to the technologies of each forensic laboratory, which is also closely related to the budget and availability of materials with those that are counted. In addition, the existence of a forensic database is essential for any country since it supports the identification of remains and the resolution of crimes. There are several databases in Mexico, but unfortunately, none has been approved for use at the national level, making identification work and the consequent administration of justice very difficult.

**Key words:** bioinformatics, databases, forensic

## Introducción

Es una realidad que muchos de nosotros nos sentimos o nos hemos sentido atraídos e interesados en algún momento por alguna de las cuestiones forenses, principalmente con las que tienen que ver con la resolución de asesinatos o crímenes. Este interés nace principalmente de aquellas series estadounidenses que se dedicaban a reconstruir la escena del crimen, determinar la forma en la que había muerto la víctima y quién había sido el misterioso asesino.

Durante los últimos años, nos hemos percatado del crecimiento y el impacto que ha tenido la informática en nuestras vidas, ya que ello ha sido favorecido por el gran avance que han tenido las tecnologías que las cuales crecen a pasos agigantados. Y tal y como ha pasado en muchas ciencias, la informática también se ha involucrado en las ciencias naturales, dando lugar así a la bioinformática, que es la ciencia que aplica el uso de las herramientas informáticas para el estudio y gestión de los datos de la biología. En este particular caso, se enfocará en el uso de la bioinformática dentro de las ciencias forenses, específicamente en el área de genética forense, que como había mencionado anteriormente, se dedica a la identificación de los “occisos” o cadáveres en calidad de desconocidos. Se hará una breve explicación del proceso que se tiene que seguir para identificar un cuerpo desde el momento que llega al anfiteatro.

La identificación es un proceso bastante cuidadoso y sistemático que comienza con la extracción de una muestra tomando en cuenta muchos aspectos que tienen que ver con el estado en el que se encuentra el cuerpo. Estas muestras se dividen principalmente en cuatro tipos: sangre, músculo, cartílago y hueso. A partir de esta muestra, se podrá llevar a cabo la extracción del material genético (DNA en este caso) tomando en cuenta el tipo de muestra, ya que el procedimiento para la sangre no es igual al de hueso, debido a que son muy diferentes en su composición y textura. Es en esta parte del proceso donde uno se pone la bata y los guantes de científico “forense” y comienza a sentirse como el profesional más importante a cargo de encontrar todas las respuestas.

Una vez que se hizo el tratamiento de la muestra, se procede a la extracción del DNA y es aquí en donde se comienza a aplicar la bioinformática, ya

que son procesos automatizados que requieren el uso de software especializados para poder extraer el DNA de cantidades inmensamente pequeñas, además de cuantificarlo y generar perfiles genéticos a partir de los resultados obtenidos. Como dato interesante, la cantidad de DNA que se necesita es mínima, por lo que el instrumental de laboratorio con el que se trabaja es muy pequeño, detallado y curioso, tanto que me hace recordar los trastes de las cocinitas con los que jugaba cuando era niña, especialmente los que pertenecían a las muñecas Barbie. Regresando al tema, estos perfiles generados son electroferogramas que posteriormente se comparan con los perfiles de presuntos familiares que están en la búsqueda de algún miembro de su familia que se encuentra desaparecido o para confirmar que el cadáver realmente es a quien buscan debido a que ya no es posible hacer un reconocimiento físico.

Para poder generar estos perfiles, es necesario trabajar con diferentes tipos de marcadores polimórficos, que son los que, como su nombre lo dice, “marcan” algunos fragmentos específicos de DNA para posteriormente poder analizarlos y crear el perfil de la persona en cuestión. Existen varios tipos de marcadores, siendo uno de los más importantes los STRs (repeticiones cortas en tándem), SNPs (polimorfismos de un solo nucleótido) y DNAm (DNA mitocondrial).

Los STRs son los marcadores de identificación forense por excelencia y se caracterizan por tener altos valores de contenido de información polimórfica y un alto poder de discriminación. Actualmente se analizan un número elevado de STR, estandarizados y validados, que se encuentran en kits que contienen un número de al menos 16 hasta más de 20 STRs, incluyendo todos los obligatorios en Estados Unidos y Europa. Los STR del cromosoma Y (Y-STR) son útiles para establecer linajes paternos, ya que se espera que los perfiles Y-STR permanezcan iguales a lo largo de un patrilineaje para los Y-STR de mutación lenta. Por lo general, es necesario complementar el análisis de las STRs autosómicas con STR del cromosoma X (X-STR) o Y-STR para lograr una discriminación adicional cuando se utilizan hermanos como muestras de referencia para la identificación del DNA (1).

Los SNPs, por su parte, tienen las ventajas de que su distribución es amplia a través de todo el genoma humano, su frecuencia y su estabilidad. Los SNPs tanto



de cromosomas autosómicos y cromosomas sexuales, como de DNAMt, tienen una enorme importancia en la práctica forense. Son polimorfismos muy sencillos y habitualmente bialélicos, esto es, simples variaciones de un solo nucleótido entre individuos en un punto particular del genoma. Estos polimorfismos son considerados con más futuro, ya que los SNP autosómicos son los más simples pues el pequeño tamaño de su amplicón y la baja tasa de mutación los hacen muy útiles en pruebas forenses, además de que pueden complementar la información proporcionada por los STRs (2). Existen SNPs que se clasifican según su aplicación forense, como lo son los informativos de identidad, de linaje, de fenotipo y de ascendencia, con los que es posible determinar características físicas como el color de ojos (1).

Por su parte, el DNAMt representa menos del 1% del DNA celular total, tiene un número muy reducido de genes y tiene un tamaño muy pequeño, además de que posee un código genético distinto al del genoma nuclear. Además, está presente en un número de copias mucho mayor en la célula humana que el DNA nuclear. Por esta razón, el análisis de DNA mitocondrial puede proporcionar resultados útiles en muestras forenses que no logran producir perfiles de DNA nuclear satisfactorios. La ausencia de recombinación en el genoma mitocondrial, la frecuencia constante de mutación (tiene una tasa de mutación elevada, superior al DNA nuclear) y el hecho de que es heredado exclusivamente por vía materna, permiten estimar el grado de parentesco materno y trazar los linajes maternos a base de comparar las secuencias mitocondriales (3).

Las herramientas bioinformáticas son las que se encargan de analizar estos marcadores y son en su mayoría especializadas, ya que cada una es diferente y se enfocan en uno o máximo 2 tipos de marcadores. También difieren en el sistema de detección con el que cuentan, que puede ser tanto Electroforesis Capilar (CE), como Secuenciación Masiva en Paralelo (MPS).

Algunas de las más importantes son SNaPshot, Mitomaster, MyFLQ, FDStools, SEQMapper, STRait Razor y ToaSTR; las cuales se muestran en la tabla 1 con sus respectivos marcadores.

Tabla 1. Herramientas bioinformáticas y sus respectivos marcadores.

Herramienta bioinformática	Marcadores
SNaPshot	SNP
Mitomaster	DNAMt
MyFLQ	STR
FDStools	STR
SEQMapper	SNP, STR
STRait Razor	STR
ToaSTR	STR

La herramienta SNaPshot es una de las más sencillas y de bajo coste para el análisis de SNPs, ya que el equipo necesario para trabajar se encuentra en todos los laboratorios forenses al ser su sistema de detección la electroforesis capilar, pero también se puede incorporar al MPS. Se aplica comúnmente al análisis forense debido a su sensibilidad y alta capacidad de multiplexación, además de que puede trabajar a baja escala y es muy eficiente. Estos ensayos no son determinantes, pero ayudan a complementar la información obtenida por los perfiles STR (4).

Mitomaster es la herramienta exclusivamente dedicada al análisis del DNAMt, la cual es muy eficiente, precisa y de fácil acceso. Consta de base de datos, análisis e interfaz, pero pueden ser utilizados independientemente unos de los otros conforme sea necesario. Trabaja en conjunto con la base de datos Mitomap. La interfaz facilita la implementación de análisis más especializados y también es distribuible a cualquier persona con un navegador web (5).

Con la herramienta MyFLQ se pueden analizar un conjunto de datos de MPS utilizando una interfaz gráfica de usuario fácil de usar, que requiere un número limitado de parámetros y casi ninguna experiencia en bioinformática. La representación visual interactiva de los resultados muestra información adicional al pasar el cursor por encima de los alelos, lo que permite un análisis en profundidad de las secuencias subyacentes y de las estadísticas relacionadas. Funciona tanto como aplicación web y como aplicación de Illumina; es fácil de usar, abierta y disponible en la web, pero solamente opera en STR forenses (6).

FDStools es la herramienta que utiliza una base de datos de muestras de referencia para determinar la tartamudez y otros artefactos sistémicos de PCR o secuenciación para cada alelo individual. Además,



se crean modelos de tartamudeo para cada elemento repetitivo con el fin de predecir artefactos de tartamudeo para alelos que no están incluidos en el conjunto de referencia. Esta información se utiliza posteriormente para reconocer y compensar el ruido en un perfil de secuencia. El resultado es una mejor representación de la composición real de una muestra, ahorrando mucho tiempo y esfuerzo valioso de los profesionales a cargo (7).

Para ayudar en el análisis tanto de los STRs como de los SNPs, se diseñó el programa SEQ Mapper que busca polimorfismos genéticos dentro de un gran número de lecturas generadas por MPS. Este nuevo programa ha sido diseñado para realizar mapeo de secuencias entre los datos de referencia y las lecturas generadas. Es un programa basado en la web para uso no comercial que detecta y registra los loci polimórficos STR utilizando cuatro diferentes niveles de criterios de búsqueda, generando varios informes de resultados (8).

STRait Razor es una herramienta de software con fines de identificación que está diseñada para detectar los alelos STR relevantes desde el punto de vista forense, basándose en la longitud alélica. Es capaz de analizar loci STR con motivos repetitivos que van desde lo simple a lo complejo sin necesidad de disponer de una gran cantidad de datos de secuencias alélicas. Como resultado, los resultados de la llamada de alelos son consistentes con los de los métodos actuales basados en electroforesis capilar y no se confunde con la variación inesperada de la secuencia dentro de las repeticiones. STRait Razor está diseñado para interpretar tanto los datos de un solo extremo como los de extremos emparejados y se basa en el procesamiento paralelo inteligente para reducir el tiempo de análisis. A los usuarios se les presentan varias opciones de configuración, incluyendo parámetros variables de detección de desajustes, así como la capacidad de permitir fácilmente la detección de alelos en nuevos loci. Es una herramienta abierta al público de uso gratuito y de constante actualización. Trabaja en conjunto con las bases de datos STRBase y YHRD (9).

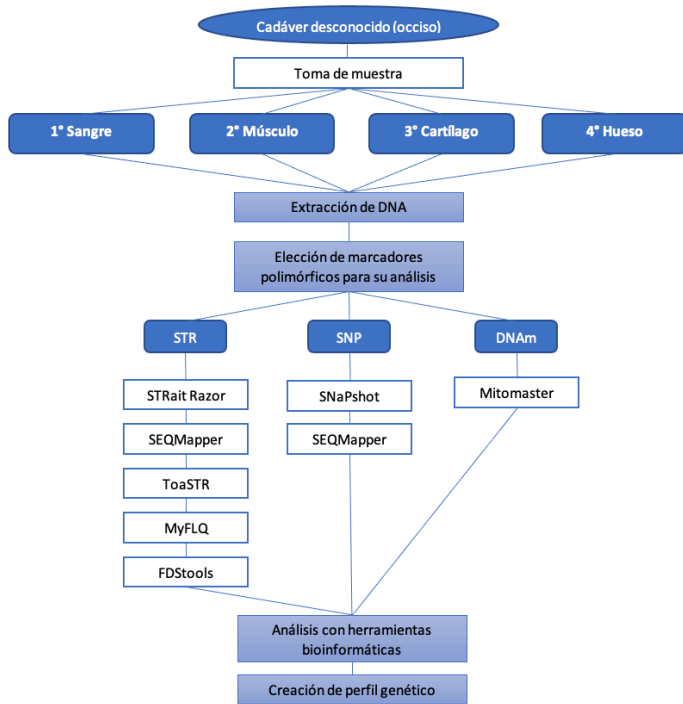
La aplicación web toaSTR fue desarrollada para ayudar a los expertos forenses a trabajar con datos STR de MPS de forma sencilla y eficiente. Cuenta con una intuitiva interfaz gráfica de usuario que guía a través

del flujo de trabajo. Este versátil software maneja datos de varias plataformas MPS populares y soporta tanto kits de PCR múltiplex comerciales como internos. Los usuarios pueden definir umbrales de tartamudez específicos del lugar y crear conjuntos personalizados de marcadores STR para ser analizados. El innovador modelo de tartamudez basado en secuencias de toaSTR predice e identifica las variantes comunes de tartamudez. El algoritmo diferencia automáticamente los alelos biológicos de la tartamudez y otros artefactos para ayudar a la interpretación de muestras mixtas. toaSTR ofrece una visualización de datos completa con diagramas interactivos y una visión general tabular dinámica de las observaciones de secuencias. El software proporciona una interfaz a las herramientas de bioestadística y permite la exportación de resultados en PDF de acuerdo con la notación de secuencia recomendada por la Sociedad Internacional de Genética Forense (ISFG, 10).

En el esquema 1 podemos ver la estructura de manera más sintetizada y gráfica que se sigue para llevar a cabo la identificación de un occiso desconocido, desde la toma de muestra, hasta que se genera el perfil genético después de que los datos fueron analizados por las herramientas bioinformáticas correspondientes.

Siguiendo con el proceso de identificación, los perfiles resultantes de estos análisis se almacenan en bases de datos de carácter forense, las cuales pueden ser sencillas o muy especializadas. Las bases de datos forenses con las que contamos en nuestro país son bastante básicas, ya que principalmente son carpetas electrónicas que se guardan en algún equipo de cómputo. Por otro lado, las bases de datos internacionales son mucho más avanzadas al ser programas o software especializados, ya que además de almacenar los perfiles y algunos datos importantes del difunto y sus familiares, cuentan con herramientas y funciones específicas que pueden determinar ellas mismas si existe alguna relación de familiaridad entre los perfiles de las personas para llevar a cabo una identificación. Algunas de las más conocidas son el CODIS, EMPOP, YHRD, dbSNP, STRbase y Mitomap, las cuales podemos visualizar en la tabla 2, junto con los marcadores con los que trabajan.

**Figura 1.** Proceso de identificación de un cadáver desconocido, desde la toma de muestra hasta la creación del perfil genético



**Tabla 2.** Bases de datos a nivel internacional con sus respectivos marcadores.

Base de datos	Marcadores
CODIS	STR
EMPOP	DNAm
YHRD	Y-STR, Y-SNP
dbSNP	SNP, STR, INDEL
STRbase	STR
Mitomap	DNAm

La base de datos forense que actualmente es considerada como la más grande e importante a nivel mundial, es el CODIS, la cual fue creada en Estados Unidos de América por la Agencia Federal de Investigación (FBI, en inglés), y que su uso se ha extendido alrededor del mundo por su eficiencia, especialización y los altos estándares de seguridad con los que cuenta. Actualmente, ésta misma es tan solicitada que se tiene que pagar una licencia para poder hacer uso de ella, pero los beneficios que su uso otorga son amplios, ya que permite la agilización de muchos procesos, un menor coste económico a futuro y constantes actualizaciones, capacitaciones del personal y mejoras continuas (11).

La base de datos EMPOP es un proyecto cuyo objetivo principal es ofrecer una colección de haplotipos de la región control mitocondrial a la comunidad científica. El proyecto incluye la posibilidad de realizar búsquedas de una secuencia concreta en la base de datos, con el fin de proporcionar las coincidencias entre el haplotipo buscado y los almacenados en la base. Además, presenta las ventajas de que todos sus datos han sido sometidos a exhaustivos controles de calidad y de que es posible realizar búsquedas de haplotipos procedentes de todo el mundo en sólo unos segundos, lo cual facilita la estimación de la frecuencia del haplotipo en estudio. Puede llevar a cabo la estimación del estado de los haplogrupos del haplotipo de DNAm y representación gráfica de los haplogrupos basada en los haplotipos del EMPOP, una base de datos gratuita y de libre uso en línea (12).

La base de datos de referencia de haplotipos del cromosoma Y (YHRD) es una plataforma informática que permite la adquisición, distribución, evaluación e interpretación de conjuntos de datos de DNA forense. Dedicada exclusivamente a los polimorfismos del cromosoma Y (Y-STRs, Y-SNPs). Las experiencias y características de la YHRD pueden servir para ayudar a otros recursos en línea en el campo de la genética forense, que evoluciona rápidamente. Las nuevas tecnologías (por ejemplo, los resultados de la secuenciación masiva en paralelo) y las nuevas herramientas matemáticas pueden integrarse y vincularse a los conjuntos de datos. Dado que los conjuntos de datos crecen y las herramientas evolucionan, estas plataformas deben actualizarse periódicamente. Con la versión actual del YHRD se ha facilitado el proceso de registro, acelerado la asignación de datos y reducido el tiempo de respuesta. Es gratuita y de libre uso online. Cuenta con altos estándares de seguridad y privacidad ya que toda la información es encriptada y de uso anónimo. Permite la adquisición, distribución, evaluación e interpretación de conjuntos de datos de DNA forense (13).

STRBase es un recurso de información para la comunidad de tipificación forense de DNA con detalles sobre los marcadores STRs de DNA de uso común. STRBase consolida y organiza la abundante literatura sobre este tema para facilitar los esfuerzos en curso en la tipificación del DNA. Se describen los alelos

observados y la secuencia anotada de cada locus de STR, junto con una revisión de las tecnologías de análisis de STR y datos de población. Además, se describen los kits de multiplexación STR disponibles en el mercado, se informan las secuencias de cebado y condiciones publicadas de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), y se enumeran los estudios de validación realizados por una serie de laboratorios forenses. Como complemento, se encuentran las direcciones de los científicos y los hipervínculos a organizaciones que trabajan en esta área, junto con la lista completa de referencias de publicaciones sobre STRs utilizados para la tipificación del DNA. Otros hipervínculos conectan con otros sitios de Internet, incluidos enlaces directos con diversas organizaciones, revistas, institutos académicos y forenses, sitios comerciales, laboratorios de genealogía genética, laboratorios de pruebas de parentesco y sitios jurídicos que se ocupan del DNA forense. Periódicamente se añaden nuevos materiales para ampliar la valiosa información contenida en el sitio web de STRBase (14).

Desde su creación, la base de datos dbSNP ha servido como repositorio público central para la variación genética, ya que cuenta con un denso catálogo de SNPs. Una vez que tales variaciones son identificadas y catalogadas en la base de datos, los laboratorios adicionales pueden utilizar la información de la secuencia alrededor del polimorfismo y las condiciones experimentales específicas para futuras aplicaciones de investigación. Al igual que con todos los recursos del NCBI, los datos de dbSNP son públicos, están disponibles gratuitamente y en diversas formas. Los aportes a dbSNP se integrarán con otras fuentes de información del NCBI, como GenBank, PubMed, LocusLink y los datos del Proyecto Genoma Humano. También cuenta con datos de varios tipos de variación de secuencia, como lo son los SNPs, STRs, Indels, entre otros. Cada entrada cuenta con vasta información con respecto al dato en cuestión (15).

La base de datos MITOMAP proporciona información sobre el DNA mitocondrial humano (DNAMt) y ha sido una importante compilación de variaciones del DNAMt para investigadores, clínicos y asesores genéticos. Se pueden buscar loci de genes mitocondriales humanos, buscar secuencias mitocondriales públicas, y explorar o buscar variantes

de nucleótidos de la población general reportadas, así como aquellas reportadas en la enfermedad clínica. Se han incluido datos de secuencias completas de DNA mitocondrial humano en GenBank, que es una base de datos disponible en línea y de libre acceso. Es actualizada constantemente con datos de investigaciones recientes, además de que es posible encontrar información completa acerca el DNAMt y otras bases de datos que lo involucren (16).

Volviendo al tema de las bases de datos forenses que se usan a nivel nacional, podemos destacar que las fiscalías que se dedican a la labor de la identificación de cadáveres desconocidos usan sus propias bases de datos para almacenar los perfiles que generan, los que, como se mencionó anteriormente, consisten en pequeñas carpetas electrónicas que se guardan en algún equipo de cómputo. Existen también algunos institutos o fiscalías que hacen uso de otro tipo de bases de datos de carácter gratuito que ya consisten en programas o softwares más especializados en el almacenaje y análisis de los perfiles genéticos. Algunas de estas bases de datos, que se muestran en la tabla 3, son la AM/PM que pertenece a la Cruz Roja Internacional (17), la CFC, que es una base de datos meramente mexicana pero que pertenece a algunos grupos de familiares que buscan encontrar a sus desaparecidos sin ningún apoyo del gobierno (18); y finalmente la M-Fisys, que es un software muy sencillo que se puede usar sin necesidad de Internet y puede llevar a cabo confrontas entre los perfiles para encontrar similitudes, además de que puede trabajar con los archivos generados por el CODIS (19). También se sabe que hay sólo una institución en México que hace uso de la licencia de CODIS, pero sólo es una a nivel nacional. Cada una de estas bases de datos son completamente funcionales en su propósito y cuentan con sus respectivas ventajas y desventajas, pero, para mi personal punto de vista, el CODIS puede ser la más conveniente por ahora al contar con el respaldo del FBI.

El mayor reto que enfrenta nuestro país con respecto al problema de gente desaparecida es el hecho de que los cadáveres que son encontrados ya sean en lugares aislados, en fosas clandestinas, como parte de algún crimen, o accidente, es que en muchas ocasiones se encuentran muy lejos de su lugar de origen, por lo que su identificación se ve frenada o impedida por el hecho

de que no existe una base de datos homologada a nivel nacional para su uso en todas las fiscalías del país. Otro problema, es el hecho de que el número de muertes en México es muy constante; diariamente se encuentran una gran cantidad de cuerpos. Lo que esto ocasiona es que se sobrepase la capacidad que tienen las fiscalías para resguardar los restos que se encuentran, los cuales, al paso de cierto tiempo de no haber sido identificados, se llevan a una fosa común, perdiendo así, en un gran porcentaje, la posibilidad de ser encontrados por sus familias.

**Tabla 3.** Bases de datos utilizadas a nivel nacional, con los marcadores trabajados, su origen, el costo por su uso y los estados en los que se utiliza.

Base de datos	Marcador	Origen	Costo	Estados donde se usa
Básicas	STR	Mexicana	Gratuita	Algunas fiscalías
CODIS	STR, DNAMt	Extranjera	Licencia	Sólo una institución
Base AM/PM	STR	Extranjera	Gratuita	17 estados
CFC	STR	Mexicana	Gratuita	Algunos estados
M-Fisys	STR, SNP, DNAMt	Extranjera	Gratuita	Algunas fiscalías

Es un hecho que existen una gran cantidad de familias que nunca llegan a encontrar a sus familiares por un sinnúmero de razones, pero lo que se debe de resaltar en este caso, es que las fiscalías pueden apoyar en la labor de identificación de cadáveres con la existencia de una base de datos a nivel nacional, ya que se tendría un control de todo, se ahorraría mucho tiempo, recursos y esfuerzos por parte de todos.

También es una realidad que, en México, al ser un país en vías de desarrollo, el gobierno no vea como prioridad el establecimiento de una base de datos tan especializada, ya que existen otros rubros que necesitan de mayor presupuesto que la labor de identificación de cadáveres desconocidos. Poco a poco, el panorama ha ido mejorando. A finales del año 2019, en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México se informó sobre la expedición de la “Ley por la que se crea el Banco de DNA para Uso Forense de la Ciudad de México”, en la cual se pretende guardar la información personal y los perfiles genéticos de individuos que se encuentren relacionados con algún delito, siendo víctima o victimario, pero que haya tenido lugar en la capital del país.

Actualmente no se cuenta con mucha información acerca de este Banco de datos, pero es un proyecto en conjunto de la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México (FGJCDMX) y autoridades de la República Argentina, quienes pusieron en marcha el software abierto, denominado GENis, que formará parte del primer Banco de Perfiles Genéticos de Uso Forense en el país. Dicho programa, donado por el gobierno argentino, específicamente por la Fundación Sadosky, representa una herramienta muy valiosa para el Banco de Perfiles Genéticos, que fue creado por una iniciativa de la Jefa de Gobierno, Claudia Sheinbaum, tras emitir la Alerta de Género.

La incorporación de este programa, permitirá a la FGJCDMX esclarecer hechos que puedan constituir delitos como homicidios, lesiones, privaciones de la libertad personal con fines sexuales, secuestros, violaciones, privación ilegal de la libertad y feminicidio, al lograr identificar al o a los probables responsables e identificar personas desaparecidas.

Este software GENis es un desarrollo de código abierto y configuración flexible y escalable, que puede ser usado en cualquier país, provincia o ciudad, lo que amplía las oportunidades de cooperación judicial entre distintas jurisdicciones, con el propósito de combatir el fenómeno de la reincidencia criminal (20).

Además, la instalación también contará con los perfiles de los policías y funcionarios públicos que están manejando o están vinculados con casos, temas de seguridad, guardias de seguridad e incluso el jefe de estado. El perfilado se basará en el perfil genético de un individuo, que es un conjunto de fragmentos cortos de ADN ordenados por tamaño. También contiene las características del individuo involucrado. De igual manera, el perfil se convertirá fácilmente en un código numérico simple que también se puede almacenar fácilmente y comparar con otros con gran precisión. También ayudará a determinar el tipo de delito que una persona podría cometer o si la persona fue el perpetrador o no (21).

Mientras todo lo que se ha propuesto se lleva a cabo y se implementa en todo el país, lo que nos queda a nosotros como científicos, es tratar de apoyar en la solución de este problema por medio de la investigación, presentación de propuestas e implementación de algunas medidas, métodos o programas para que el



problema vaya disminuyendo o evitar que crezca. Se ha ido avanzando poco a poco en esto, pero aún falta un largo camino por recorrer.

En los últimos años se han desarrollado varios métodos analíticos para la determinación de NSP en distintas matrices. La mayor parte de los análisis utiliza la cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas de alta resolución (HPLC/MS, por sus siglas en inglés) para la identificación de estas sustancias(54). Estos métodos suelen identificar y cuantificar hasta cincuenta NPS usando una detección en target MS/MS (espectrometría de masas en tándem), con límite de cuantificación en el rango de ng/mL. La mayoría de estos métodos son específicos, están validados y aplicados en los laboratorios de toxicología forense y laboratorios de dopaje deportivo.

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

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

## Comentarios finales

Las NSP son un grupo de sustancias cuyo mercado, prevalencia y patrones de uso son muy dinámicos; representan un riesgo importante para la salud, especialmente por el poco conocimiento que existe de los efectos que produce su consumo, además de su potencial adictivo. Aunque parece haber indicios de que la situación de las NSP en el plano mundial se está estabilizando, los análisis en determinadas regiones indican que la diversidad de NSP sigue creciendo, y en muchas otras no se tienen suficientes datos, por lo que es fundamental llevar a cabo un análisis regional más detallado para comprender mejor las tendencias. México, aunque reporta como país miembro de la UNODC, no cuenta con un SAT propiamente establecido, lo que podría contribuir a subestimar la presencia de NSP en nuestro país. Recientemente, en el 2019, en el Senado de la República se tuvo un punto de acuerdo en donde el Senado de la República(60) exhorta respetuosamente a la Secretaría de Salud para que en el ámbito de sus atribuciones realice una investigación sobre el auge de la comercialización en México de nuevas sustancias psicoactivas y sus implicaciones para la salud, así como que actualice y publique la lista de sustancias y narcóticos prohibidos.

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

## Bibliografía

1. Watherston J, McNevin D, Gahan M, Bruce D, Ward J. Current and emerging tools for the recovery of genetic information from post mortem samples: New directions for disaster victim identification. *Forensic Sci Int Genet.* 2018; 37:270-282. DOI: 10.1016/j.fsigen.2018.08.016
2. Calabuig G, Villanueva E. *Medicina Legal y Toxicología*. 2ª edición. España. Elsevier. 2018.

3. Parson W, Gusmao L, Hares D, Irwin J, Mayr W, Morling R, Pokorak E, Prinz M, Salas A, Schneider P, Parsons T. DNA Commission of the International Society for Forensic Genetics: Revised and extended guidelines for mitochondrial DNA typing. *Forensic Sci Int Genet.* 2014; 3:134-42. DOI: 10.1016/j.fsigen.2014.07.010
4. Mehta B, Daniel R, Phillips C, McNevin D. Forensically relevant SNaPshot® assays for human DNA SNP analysis: a review. *Int J Legal Med.* 2017; 131(1):21-37. DOI: 10.1007/s00414-016-1490-5
5. Brandon M, Ruiz-Pesini E, Mishmar D, Procaccio V, Lott M, Cuong N, Kevin, Spolim S, Patil U, Baldi P, Wallace D. MITO-MASTER – A Bioinformatics Tool For the Analysis of Mitochondrial DNA Sequences. *Hum Mutat.* 2009; 30(1):1-6. DOI: 10.1002/humu.20801
6. Van Neste C, Gansemans Y, De Coninck D, Van Hoofstat D, Van Crieckinge W, Deforce D, Van Nieuwerburgh F. Forensic massively parallel sequencing data analysis tool: Implementation of MyFLq as a standalone web- and Illumina BaseSpace application. *Forensic Sci Int Genet.* 2015; 15:2-7. DOI: 10.1016/j.fsigen.2014.10.006
7. Hoogenboom J, van der Gaag Kristiaan J, de Leeuw R, Sijen T, de Knijff P, Laros J. FDS Tools: A software package for analysis of massively parallel sequencing data with the ability to recognise and correct STR stutter and other PCR or sequencing noise. *Forensic Sci Int Genet.* 2017; 27:27-40. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2016.11.007>
8. Chun-I Lee J, Tseng B, Chang L, Linacre A. SEQ Mapper: A DNA sequence searching tool for massively parallel sequencing data. *Forensic Sci Int Genet.* 2017; 26:66-69. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2016.10.006>
9. Warshauer D, Lin D, Hari K, Jain R, Davis C, LaRue B, King J, Budowle B. STRait Razor: A len-based forensic STR allele-calling tool for use with second generation sequencing data. *Forensic Sci Int Genet.* 2013; 7(4):409-17. DOI: 10.1016/j.fsigen.2013.04.005
10. Ganschow S, Silvery J, Kalinowski J, Tiemann C. toaSTR: A web application for forensic STR genotyping by massively parallel sequencing. *Forensic Sci Int Genet.* 2018; 37:21-28. DOI: 10.1016/j.fsigen.2018.07.006
11. FBI, United States Government. Frequently Asked Questions on CODIS and NDIS. Estados Unidos de América.
12. Parson W, Dur A. EMPOP—A forensic mtDNA database. *Forensic Sci Int Genet.* 2007; 1(2):88-92. DOI: 10.1016/j.fsigen.2007.01.018
13. Willuweit S, Roewer, L. The new Y Chromosome Haplotype Reference Database. *Forensic Sci Int Genet.* 2015; 15:43-8. DOI: 10.1016/j.fsigen.2014.11.024
14. Ruitberg C, Reeder D, Butler J. STRBase: a short tandem repeat DNA database for the human identity testing community. *Nucleic Acids Res.* 2001; 29(1):320-2. DOI: 10.1093/nar/29.1.320
15. Bhagwat, M. Searching NCBI's dbSNP Database. *Curr Protoc Bioinformatics.* 2010; Chapter 1:Unit 1.19. DOI: 10.1002/0471250953.bi0119s32
16. Lott M, Leipzig J, Derbeneva O, Xie H, Chalkia D, Sarmady M, Procaccio V, Wallace D. mtDNA Variation and Analysis Using MITOMAP and MITOMASTER. *Curr Protoc Bioinformatics.* 2013; 44(123):1.23.1-26. DOI: 10.1002/0471250953.bi0123s44
17. Comité Internacional de la Cruz Roja. Base de datos ante mortem/post mortem. Suiza. CICR. Julio 2014.
18. Ciencia Forense Ciudadana. Registro Nacional Ciudadano de Personas Desaparecidas (RNCPD). México. CFC.
19. Gene Codes Forensics. The Mass Fatality Identification System (M-FISys). Estados Unidos de América. Gene Codes Corporation.
20. Instituto de Formación Profesional y Estudios Superiores. Presentan sistema para la creación del Banco de Perfiles Genéticos de Uso Forense. México. IFPES.
21. Smith J. Mexico City Opens First DNA Bank to Help Solve Sex-Related Crimes. Estados Unidos de América. Latin Post.



## RESEÑAS DE LIBROS



# Avances en antropología forense

Jorge A. Gómez-Valdés <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

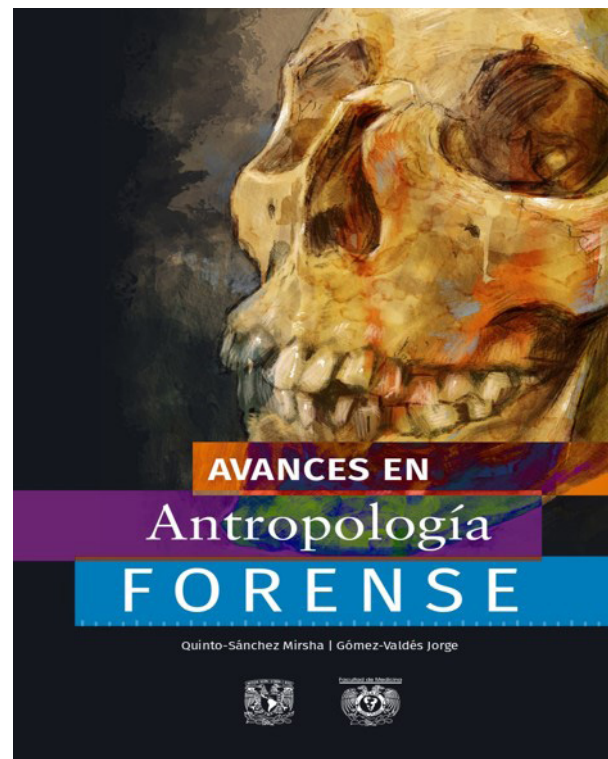
\* jorge\_gomez@inah.gob.mx

Avances en Antropología Forense se trata de un libro enorme, no me refiero sólo a la cantidad de hojas y letras, si no a los contenidos temáticos, los esfuerzos de las y los autores y por la historia que involucra. Quiero decir que si cada una de las personas que han contribuido en esta obra buscaran un punto de partida en las iniciativas que han plasmado en este libro, muy probablemente tendríamos como resultado una red muy compleja de procesos (muchos caminos) que al final han venido a encontrar una forma de anidarse en este libro que representa un importante esfuerzo que la Universidad Nacional Autónoma de México a través de la Licenciatura en Ciencia Forense ha apoyado.

Avances en Antropología Forense desde su inicio a buscado ser un espacio académico que permitiera reunir trabajos de muy diferente índole pero que se encuentran estructurados alrededor del quehacer de los antropólogos y ciencias afines en la noble tarea de la identificación humana. Es un libro en el cual cada uno de los trabajos, y la obra en lo general, fueron sometidos a un estricto proceso de arbitraje; todos entenderán lo que ello conlleva en tiempo y energía invertidos.

Podemos decir, que se trata de una iniciativa sin precedentes en el ámbito de la antropología forense en México. Siendo, realmente, un manual o enciclopedia que estamos seguros que podremos considerar se convertirá en una referencia obligada para estudiantes de diferentes niveles, investigadores y desde luego para los principales agentes de actuación en el campo de la identificación humana que son los peritos especialistas en antropología forense.

La iconografía del libro, es uno de sus aspectos a destacar. Inicialmente, por la obra de arte que ilustra la portada autoría de nuestro amigo Emiliano Bellini, acuarelista y músico argentino de importante reputación. Pero también es importante hacer notar que se trata de un gran logro el valor explicativo de las ilustraciones que cada autora y autor han preparado para acompañar sus manuscritos; permitiendo de esa manera tener un



manejo ágil y sintético de los trabajos basados en el análisis de estándares de referencia para la estimación del perfil biológico; como los trabajos de propuestas metodológicas, así como también, los estudios de caso. Vale mencionar el cuidado ético que en todo momento se ha tenido para la presentación restringida de imágenes con un enfoque que garantice preservar la integridad humana. Es decir, todo esto en conjunto, permite que la obra tenga un alto valor práctico, aplicativo y didáctico.

Las cinco secciones que comprende el libro, principalmente se enfocan en trabajos realizados en población mexicana, aunque tenemos que ser honestos en decir que hubiéramos querido abarcar un poco más allá, hacia Latinoamérica; donde reconocemos como propios algunos de los problemas de la región y a la vez compartimos la idiosincrasia frente a la problemática de la emergencia forense. Sin embargo, la deuda quedará no sé si para futuras iniciativas, pero sí para futuras lealtades. En este mismo sentido, en el primer capítulo el Dr. Ubelaker, antropólogo del Instituto Smithsonian y quien es uno de los más importantes científicos del ámbito de la antropología forense, hace el balance del Desarrollo de la Antropología Forense en América Latina, donde aporta una serie de elementos que explican las raíces académicas de la antropología forense, denotadas por el impulso dado desde la cooperación internacional, la comunicación y la presión interna de familias y organismos no gubernamentales. Pero también, en este manuscrito se reconoce que este proceso ha sido marcado por la institucionalización de las especialidades de la antropología forense. Nos deja un panorama alentador al sostener que la antropología forense está atrayendo a jóvenes profesionales, como él lo menciona, “inteligentes y dedicados al campo”.

El segundo capítulo de esta sección introductoria, Mariel Duran, de la Procuraduría General de Justicia del Estado de Tamaulipas, y colaboradores, presentan un balance sobre el Protocolo de Antropología Forense en México. Las autoras y autores, notablemente hacen un balance de la propuesta gubernamental y establecen mejoras tras realizar un balance crítico del estado de la cuestión. Las autoras han puesto los puntos en las “is”, marcando una serie de pautas que permitan fortalecer los protocolos en antropología forense en México.

La sección sobre Perfil Biológico, de sustancial relevancia, a mi consideración es principales logros de este gran libro; donde se agrupan numerosos especialistas en temas como la estimación sexual, edad al momento de la muerte en esqueletos sub-adultos y adultos, reconstrucción de talla, estimación de ancestría entre otros.

Todos estos capítulos, en conjunto, por su contenido son excepcionales, los cuales contienen, tanto aspectos generales para abordar las problemáticas del establecimiento del perfil biológico, como también se tratan los casos específicos que requieren un análisis a detalle. Prácticamente, en estos capítulos las autoras y los autores, que podemos considerar de los principales exponentes en cada uno de los temas, recopilan una cantidad enorme de datos y dan un acercamiento sintético que nos enseña abordajes estandarizados para el análisis bioantropológico que permita, paso a pasito, lograr la reconstrucción de la identidad de un individuo; cuando su cuerpo ha sido reducido de alguna u otra manera.

Así es como se presenta un primer capítulo sobre estimación sexual, en el cual se puede apreciar que en México desde los aportes que Santiago Genovés hiciera en los años sesentas, existe un interés importante por los distintos abordajes morfométricos y morfoscópicos que permitan estimar el sexo de un sujeto a partir de sus restos óseos. En un segundo capítulo, Paula González, Valeria Bernal e Iván Pérez, un equipo inseparable de bioantropólogos argentinos que ha venido trabajando desde hace años en la aplicación de las teorías, métodos

y técnicas de la morfometría geométrica tanto en bioarqueología como antropología forense, nos dan un panorama aplicativo de lo que mucho tiempo consideramos el futuro de la antropología pero que hoy en día es una herramienta que resulta altamente promisorio en el campo de la antropología forense. Ellas discuten no sólo lo más básico respecto a la implementación de tecnología en la ciencia, como puede ser la reducción de tiempo en los análisis o la posibilidad de generar procesos automatizados para realizar estimaciones como la edad o el sexo, si no que van más allá al hablar de sensibilidad y especificidad en los contextos médico-legales de acuerdo a estándares internacionales.

Los tres capítulos que continúan en la sección de Perfil Biológico, tratan sobre la estimación de edad. En el primero de ellos, Consideraciones para la estimación de Edad al Momento de la Muerte en Esqueletos Sub-adultos, Perla Chávez, Abigail Meza y Francisco Etxeberria presentan de manera general los requerimientos necesarios para realizar una adecuada estimación de edad, para lo cual, se esquematizan los criterios con base a la aparición de centros de oscificación primarios, fusión de centros de oscificación y se demuestran los modelos matemáticos de regresión lineal de las longitudes diafisarias. Con base en el análisis radiológico de los apéndices dentales, Stefano de Luca, Iván Gálic y Roberto Cameriere describen los principales métodos para estimar edad en individuos inmaduros. Ambos trabajos resaltan por la rigurosidad científica y la relevancia del tema en el contexto de las personas ausentes y también en la necesidad de estimar la edad en menores no acompañados y los procesos de justicia en menores. Posteriormente, Jessica Cerezo, toca, lo que a mi parecer es uno de los temas más sensibles de la praxis de la antropología forense, y es la Estimación de la Edad al Momento de la Muerte Usando el Extremo ETERNAL de la Cuarta Costilla; pues ella ha venido a corroborar la necesidad de recalibrar estos modelos al aplicarlo a individuos de la población mexicana contemporánea; toda vez que se observa que se subestima la edad de manera sistemática a partir de la cuarta década de la vida.

Respecto a la estimación de edad, en términos generales, estos trabajos muestran la necesidad de contar con series esqueléticas de referencia con amplia representación en los distintos grupos etarios y especialmente nos muestra la debilidad que se tiene en cuanto a patrones de referencia en el caso de sub-adultos.

En otro sentido, de manera subsecuente, se han incluido tres trabajos que se enfocan en la estimación de ancestría con base en el análisis de rasgos morfológicos dentales y craneales no-métricos, además de caracteres cuantitativos craneofaciales. El primero de ellos por Rebeca George y Donovan Adams pone a prueba el ampliamente difundido Sistema de Antropología Dental de la Universidad Estatal de Arizona (DAS/ASU por sus siglas en inglés) para estimar ancestría en antropología forense y sientan las bases para la justificación de este abordaje en ciencia forense. Posteriormente, Kelly Kamikar y sus colaboradores, del Departamento de Antropología de la Universidad Estatal de Michigan liderado por Joseph Hefner, detallan los aspectos más relevantes para la valoración de los diferentes rasgos macromorfoscópicos y comunican una serie de herramientas adicionales que permitan de manera amigable tener información sobre el origen biogeográfico de un individuo cuando se analizan sus restos óseos. El siguiente trabajo, propone una introducción sobre aspectos teóricos de la estimación de ancestría biogeográfica, sus modelos, restricciones y metodologías en contextos forenses. Hoy en día, este es uno de los temas de especial relevancia por un lado dadas las dinámicas migratorias en Latinoamérica y por otro por la necesidad de restablecimiento de la memoria de grupos humanos que han sido víctimas de la trata y como parte del proceso histórico de justicia, visibilizar a los sujetos de minorías étnicas resulta imperativo.

La estimación de la talla es quizá uno de los temas más complejos de tratar en la actualidad, debido, principalmente, a que no se cuentan con series esqueléticas de referencia con el registro de la estatura que los individuos tenían en vida. De esta forma, Antinea Menéndez y Gabriela Sánchez-Mejorada han presentado un balance sobre la aplicación del método anatómico de Fully y la revisión de los métodos de regresión lineal que se cuentan en la actualidad de manera específica para la población mexicana contemporánea.

Al final de esta sección, Ivet Gil, Patricia López y Alicia Espinosa presentan un documento sobre la aplicación de odontología en ciencia forense. Tengo que decir que me encanta esta declaración de ubicar el análisis de los apéndices dentales en un traslape con la antropología.

La siguiente sección está dedicada al Perfil Individualizante. Es decir, al análisis de todas aquellas variantes inconstantes que permiten referirnos a ese gradiente de variación que prácticamente nos hace únicos a cada organismo viviente.

Sin embargo, los lectores podrán notar que el extraordinario trabajo que Gerardo Valenzuela de la Escuela de Antropología e Historia del Norte de México sobre las Marcas de Actividad Física y su Uso en Antropología Forense ha quedado mal compaginado en la sección previa. Sin embargo, a favor de este error, tendríamos que aprovechar para discernir respecto a considerar las huellas que la actividad física deja en el esqueleto pueden considerarse parte del análisis del Perfil Individualizante.

Posteriormente Aurora Pérez y Lourdes Márquez integran información de diversas investigaciones ofreciendo un panorama interdisciplinar sobre el diagnóstico de los traumatismos óseos por impacto de Proyectoil de Arma de Fuego. Este trabajo destaca por la calidad de las ilustraciones que permiten tener un modelo de referencia para el diagnóstico que reúna los saberes de múltiples disciplinas. De igual forma, Albertina Ortega, de la Especialidad en Antropología Forense de la ENAH, y Jesús Luy, renombrado antropólogo de la Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México, han presentado un trabajo de referencia obligada para las clasificaciones de procesos patológicos que dejaron huella en los huesos y que destacan por su importancia para el proceso de identificación humana.

Chantal Loyzance presenta una nota introductoria del amplio campo de la biometría forense. La autora reconoce la necesidad de desarrollar sistemas de gestión integral de las bases de datos multimodales y contar con áreas de servicio basadas en la multidisciplinariedad para lograr desarrollar métodos biométricos como rasgos faciales, movimientos corporales, componentes orgánicos y desde luego las huellas digitales y patrones del iris. Con este trabajo, se concluye que mientras el desarrollo tecnológico avance, el reto que enfrenta la biometría forense exigirá mayores y mejores desarrollos de sistemas para la integración de los diversos elementos asociados; y obtener así, conclusiones estadísticas con fundamentos técnicos y legales sólidos. Problemática que desde luego es común a toda la antropología forense. En este mismo sentido, el capítulo diez y siete, del equipo que dirige nuestra querida colega, mexicana por cariño y española de nacimiento, Amaya Gorostiza del Laboratorio de Identificación Genética del Grupo Pharma Mar, busca presentar los nuevos retos en genética forense. Me permitiré leer el párrafo principal del trabajo debido a que describe de la mejor manera posible la tensión que existe en la actualidad entre las ciencias que participan, junto con la genética, en el proceso de identificación humana:

*“Los avances en el campo de la genética forense están revolucionando la identificación humana e incluso la interpretación de la historia. Límites que parecían insuperables están quedando atrás ante las nuevas disciplinas y las técnicas desarrolladas en los últimos años, permiten un uso que va más allá de la pura aplicación analítica, permitiendo su proyección hacia profundas reflexiones científicas”.*

Con esto podemos ver que la genética, incluida la genética forense, es una ciencia con una epistemología propia y no debe ser considerada una técnica de análisis. La antropología moderna, escapando de los paradigmas biotipológicos del siglo XIX ha afianzado una interrelación con la genética. En el ámbito forense esta relación va más allá de la confronta de pares de bases para la confirmación de una identificación positiva.

La cuarta sección del libro se enfoca en las Innovaciones y Aplicaciones en Antropología Forense. De esta manera Vera Tiesler, Alejandro López y Julio Chi Keb del Laboratorio de Bioarqueología de la Universidad Autónoma de Yucatán comparten la técnica que ellos han desarrollado para la estimación de edad en restos óseos altamente afectados por efectos diagenéticos en los contextos bioarqueológicos del área maya y que han podido extender a la antropología forense aplicando el análisis histomorfológico de hueso no-descalcificado.

Posteriormente, la profesora Lumila Menéndez, del Instituto Konrad Lorenz de Austria hace una introducción al concepto y cálculo del error de medición en estudios morfológicos. Lo cual lo consideramos de especial relevancia en el ámbito de la antropología forense, tanto en los estudios morfoscópicos como morfométricos. Lo cual, no solamente permite tener un criterio de calidad de nuestras observaciones si no que establece un criterio de buenas prácticas en la ciencia forense. El trabajo ofrece una serie de recomendaciones para disminuir el error de medida. Este trabajo me lleva a recordar la reflexión que siempre comento con mis alumnas y alumnos respecto a que una metodología que tenga altos niveles de error entre observadores de manera tal que los datos que se generan por grupos de investigaciones externos, más que una propuesta metodológica es un dogma. En antropología forense hemos estado transitando para dejar de lado los conocimientos dogmáticos y explorar nuevos diseños metodológicos. Para ello, es necesario contar con buenos diseños de control del error de medida.

El futuro nos alcanza con el trabajo donde se plantea el estado del arte de la predicción fenotípica a través del ADN. De esta forma Caio Cerqueira, Perito Criminal en la Superintendencia de la Policía Técnica y Científica del Estado de São Paulo, Brasil, nos deja en claro que, aunque se trata de un campo en desarrollo, las bases metodológicas se encuentran ya establecidas para la predicción fenotípica y quizá ahora los esfuerzos deben centrarse en la creación de bases de datos de referencia.

Celia Cintas y colaboradores nos muestra una serie de aplicaciones de la inteligencia artificial y el análisis de redes para la adquisición automatizada de fenotipos de interés antropológico y Mirsha Quinto amplía este enfoque hacia el estudio de la arquitectura compleja de fenotipos humanos.

Al final de este apartado José Luis Silván y colaboradores presentan una revisión de las técnicas de percepción remota y sus aplicaciones en investigaciones forenses. Los investigadores del Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C., presentan una descripción sintética de las aplicaciones en los



procesos de búsqueda y prospección arqueológica de la fotografía aérea, imágenes multiespectrales y térmicas, además de otros desarrollos como el escáner láser aerotransportado, mejor conocido como LiDAR.

La quinta sección abarca una serie de Estudios de Caso que pueden ser considerados puntos de referencia o landmarks para el desarrollo de la antropología forense. Por un lado, se tratan las cualidades de algunas colecciones esqueléticas de referencia, así como también se discute la importancia de la entrevista en de los familiares de personas desaparecidas en el proceso de recuperación de información antemortem. La Dra. Roxana Enriquez, Diana Bustos y Omar Pérez, en otro de los capítulos, comparten sus experiencias obtenidas tras años de trabajo en el Equipo Mexicano de Antropología Forense, al enfrentar problemáticas que se relacionan con la emergencia forense y la investigación de personas desaparecidas.

Al final de este apartado se presentan dos trabajos de especial importancia, uno de ellos que trata de la experiencia de jóvenes antropólogas y antropólogos que participaron proactivamente en el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México y otro más que busca ser una referencia sobre el efecto de la dictadura militar.

## Bibliografía

1. Quinto-Sánchez, Mirsha y Gómez-Valdés, Jorge A. 2022. Avances en Antropología Forense. 1st ed. Universidad Nacional Autónoma de México. CDMX, México. ISBN-13: 978-6073056557, 578 pp.

# Guías para la valoración judicial de la prueba pericial en materia de genética, toxicología, lofoscopia y análisis de voz

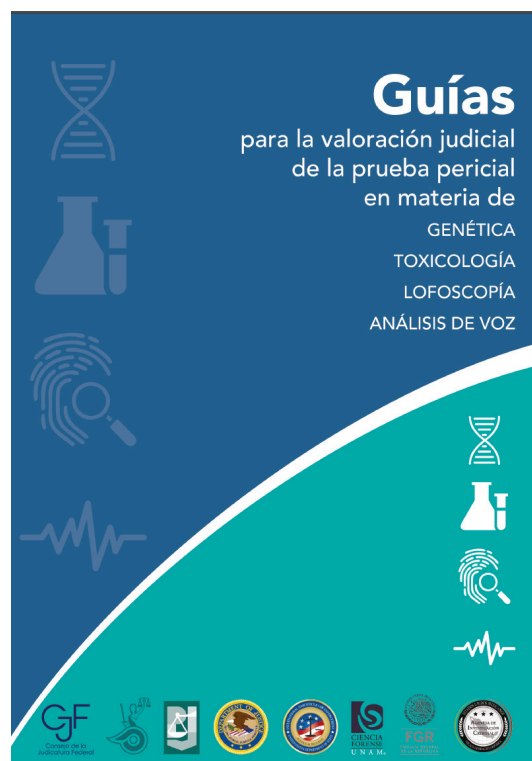
Zoraida García Castillo <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Coordinadora de la Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

\* zoraidagc@unam.mx

En abril de 2022 se publicaron las Guías para la Valoración Judicial de la Prueba Pericial en cuatro áreas del conocimiento forense. Se trata de una serie de herramientas técnicas y científicas para la mejor comprensión de la prueba pericial por parte de los jueces y juezas de nuestro país. Su propósito es acercarles elementos desde la ciencia para el entendimiento y valoración de las pruebas periciales, tanto para la admisión como la apreciación de fondo.

Se trata también de un muy importante logro de la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la UNAM. Se realizó en alianza con el Consejo de la Judicatura Federal, por conducto de la Unidad para la Consolidación del Nuevo Sistema Justicia Penal; el Departamento de Justicia de los Estados Unidos de América, a través de la Oficina Internacional para el Desarrollo de Sistemas de Procuración de Justicia (OPDAT) y el Programa Internacional para la Capacitación en la Investigación Criminal (ICITAP). Participaron también de forma muy importante jueces y juezas federales y locales, por lo que el apoyo del Poder Judicial de la Ciudad de México ha sido de suma importancia.



Cada Guía está integrada por cuatro subguías en que se describen los criterios generales que deben considerarse para la comprensión de la prueba pericial, los errores que suelen presentarse en las distintas etapas, cómo identificarlos y su grado de tolerancia permisible reflejado en fallas o circunstancias frecuentes para que sean considerados para su valoración. La Subguía 1 señala los presupuestos mínimos científicos y jurídicos estrechamente vinculados, tanto para el análisis del indicio como para la integración de la prueba. Las Subguías 2, 3 y 4 contienen los elementos de recolección, procesamiento y análisis del indicio, por cada área científica y técnica. Finalmente se incluye un glosario compuesto por dos secciones: una general, que contiene términos comunes a la ciencia forense, y otra específica con conceptos propios de cada área forense.

Son guías esquemáticas, sucintas y prácticas, que se redactaron a partir de las mejores prácticas basadas en evidencia a nivel nacional e internacional. Las autoras son las académicas Alexa Villavicencio Queijeiro (Genética); María Elena Bravo Gómez, Alejandra Castillo Alanís y Alejandra Quijano Mateos (Toxicología);



Chantal Loyzance (Lofoscopia) y Fernanda López Escobedo (Análisis de Voz). Su contenido fue revisado por expertos de ICITAP, de la Coordinación General de Servicios Periciales de la Fiscalía General de la República y del Grupo Nacional de Servicios Periciales y Ciencias Forenses de la Conferencia Nacional de Procuración de Justicia. Así, la revisión de pares fue muy completa y asegura la legitimidad científica forense de su contenido.

Por primera ocasión en nuestro país y a nivel regional, se ha logrado la recepción por parte de la comunidad judicial de recibir elementos desde la ciencia, más allá de los peritajes que les son acercados por las partes en juicio, de manera que puedan asirse de mayores elementos para el entendimiento de la ciencia que trasciende al ámbito jurídico. El lenguaje utilizado fue revisado por personal judicial, precisamente para verificar su comprensión, pero sobre todo para asegurarse de su utilidad en el ámbito jurídico.

Están por publicarse otras siete Guías en un segundo tomo, pues el proyecto ha seguido siendo ejecutado y puede ser de largo aliento, si las instituciones participantes continúan refrendando su participación.

Lo que sigue es la difusión y conocimiento de los jueces y juezas locales y federales del país, para conocer si verdaderamente este instrumento es aplicable y útil. Las Guías habrán de ser revisadas y actualizadas en su contenido, pues se pretende que avancen al mismo ritmo que avanza la ciencia. Para ello, se han puesto al alcance del público interesado tanto desde el área jurídica como científica forense en el sitio del Consejo de la Judicatura Federal:

<https://www.cjf.gob.mx/PJD/guias/Default.aspx>

## Bibliografía

1. Guías para la valoración judicial de la prueba pericial en materia de Genética, Toxicología, Lofoscopia y Análisis de Voz. Ubijus editorial, México, 2022. ISBN: 978-607-8615-81-0



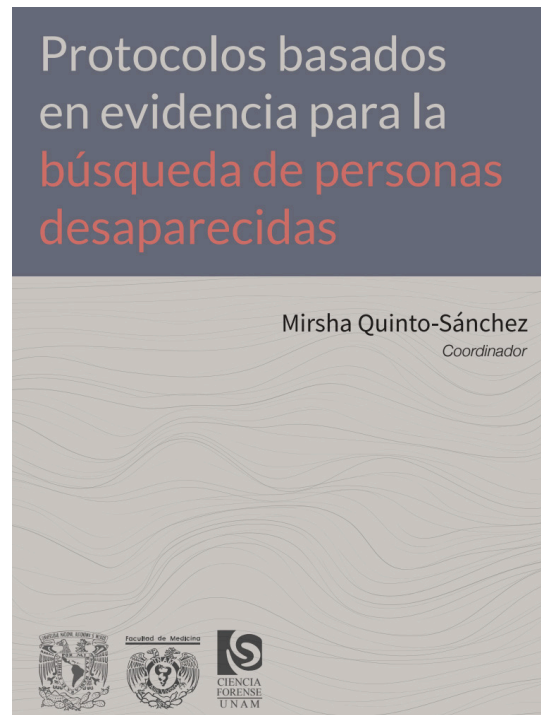
# Guía BUSCA: protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas

Mirsha Quinto-Sánchez <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

\* mirsha@cienciaforense.facmed.unam.mx

La crisis en materia de desaparición en México, ha alcanzado cifras devastadoras. Se estima según cifras oficiales que en el país hay a la fecha 106,123 personas desaparecidas, lo que ha desbordado las capacidades de respuesta de los servicios forenses en el país. En éste contexto, como respuesta integral a dicho fenómeno producto de la violencia, es que desde la UNAM se construyó un primer protocolo reivindicativo de los modelos basados en evidencia (MBE) para la búsqueda de personas desaparecidas, como una acción de mitigación hacia la problemática de la falta de protocolos estandarizados en materia de búsqueda forense. Los están fundamentados en los principios rectores para la búsqueda de personas (ONU-DH, 2019), principalmente en aquellos que enfatizan la parte pericial o científica del proceso de búsqueda de una persona donde se establece que “Las autoridades competentes deben hacer uso de los métodos forenses adecuados y de su experiencia profesional y sus conocimientos acumulados en las actividades de búsqueda y localización de personas desaparecidas. También pueden solicitar la colaboración de las personas con conocimientos especializados y técnicos, de expertos forenses y otros científicos y de las organizaciones de la sociedad civil, para la formulación de hipótesis de desaparición, el diseño de la estrategia integral y la realización de actividades de búsqueda (Principio 8, rubro 4)”.



La Guía Busca es una publicación modular que por ahora se compone de cuatro protocolos realizados por 13 especialistas de distintas áreas que ayudan a la búsqueda de personas, pertenecientes a seis instituciones nacionales como Ciencia Forense-UNAM, Subdirección de arqueología subacuática del INAH, el Instituto de Geofísica, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería-UNAM y en Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial AC.

El protocolo de Gestión Integral de Panteones (GIP) es la presentación de una metodología para atacar el problema de los restos de personas en cementerios en el país. Trabajando de manera integral se dan recomendaciones y estandarización del trabajo en panteones con fosas no reclamadas, fosas comunes, censos, nichos y osarios.

El protocolo *Prospección Subacuática en Agua Abiertas* de la Arqlga. Pamela Lara y colaboradores, presentan una propuesta de pautas, metodologías y recomendaciones para emplear el buceo en la búsqueda de personas en ambientes acuáticos no confinados. Se presenta la metodología general de trabajo de la arqueología subacuática, los equipos en tierra y para el buceo, además de los tipos de prospección que se realizan.

Por su parte el protocolo *Prospección geofísica somera aplicada en búsqueda forense* la Dra Ana Caccavari y colaboradores revisan los principales métodos de prospección geofísica proponiendo ventajas y desventajas, aportando sus principales características y estableciendo sus limitantes. También, aportando ejemplos de aplicación de dichos métodos.

Después, el protocolo *Detección y prospección por medio de vehículos aéreos no tripulados y tecnologías geoespaciales* del Dr. José Luis Silvan y colaboradores aporta evidencia sobre el uso de drones, videografía, fotointerpretación, fotogrametría, entre otras, para la búsqueda y prospección de personas en contextos forenses. Se dan aportes importantes de metodologías geoespaciales de punta que diversas fiscalías o comisiones de búsqueda pueden aplicar.

Como se menciona en el libro *La Guía Busca* se construyó con una visión de filosofía de la praxis y como una herramienta de emancipación de la praxis forense, de profesionales, académicos y familiares de desaparecidos, desde la perspectiva de los MBE que integran la mejor evidencia científica disponible, la experiencia de los peritos o investigadores y las preferencias, conocimientos o aportes de los familiares.

La mejor realidad de la Guía BUSCA será su lectura y su mejora continua a través del tiempo. Si te interesa la obra es de acceso libre en el siguiente enlace:

[http://www.cienciaforense.facmed.unam.mx/?page\\_id=7520](http://www.cienciaforense.facmed.unam.mx/?page_id=7520)

## Bibliografía

1. Quinto-Sánchez Mirsha. 2022. Protocolos basados en evidencia para la búsqueda de personas desaparecidas. Coordinador. Ciencia Forense. Facultad de Medicina UNAM. 180pp.

