



**UEB**  
UNIVERSIDAD  
ESTATAL DE BOLIVAR

# QUÍMICA FORENSE

Jorge Alexander Briceño Carrasquel  
Michael Xaxier Hachi Pazmño



ISBN: 978-9907-0-0589-9

2025

# QUÍMICA FORENSE

---

**AUTORES:**

**JORGE ALEXANDER BRICEÑO CARRASQUEL**

**MICHAEL XAVIER HACHI PAZMIÑO**

**ISBN: 978-9907-0-0589-9**



Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica.

©Grupo Editorial BLR  
Universidad Estatal de Bolívar  
Riobamba – Ecuador  
Correo: publicaciones@grupobl.com  
<https://grupobl.com/libros-investig>  
REPOSITORIO



Briceño, J., Hachi, M. (2025) Química Forense. Grupo Editorial BLR.

© Jorge Alexander Briceño Carrasquel  
Michael Xavier Hachi Pazmiño

**ISBN: 978-9907-0-0589-9**

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.

## FILIACIONES DE LOS AUTORES

Jorge Alexander Briceño Carrasquel

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: [jbriceno@ueb.edu.ec](mailto:jbriceno@ueb.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0692-1228>

Michael Xavier Hachi Pazmiño

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: [xhachi@ueb.edu.ec](mailto:xhachi@ueb.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4656-7593>



## **PRÓLOGO**

La evolución de las ciencias forenses en el siglo XXI permite tomar una perspectiva distinta sobre la escena del crimen y se entiende como un laboratorio dinámico donde la química actúa como el lenguaje universal de la evidencia. Este libro nace de la necesidad de sistematizar el conocimiento técnico-científico aplicado a la investigación judicial, ofreciendo una visión profunda de cómo las trazas materiales se convierten en testimonios irrefutables de la verdad.

El contenido de esta obra se estructura sobre la premisa de que no existe contacto sin transferencia. Desde esta perspectiva, el lector encontrará un análisis detallado de los residuos de disparo, GSR, explorando su identificación química y la complejidad de su transferencia al tirador, la víctima y el entorno. Se abordan con rigor crítico los desafíos del muestreo y los factores que pueden derivar en falsos negativos, como el lavado de manos o la persistencia temporal de las partículas.

Uno de los pilares de este volumen es el estudio de las trazas forenses. El análisis de microevidencias —cabello, fibras textiles, fragmentos de pintura y vidrio— se presenta bajo los estándares internacionales de organismos como el SWGMAT y ENFSI. Se profundiza en la morfología de las fibras, clasificándolas desde su origen natural hasta las complejas estructuras sintéticas, y se destaca el uso de la microscopía avanzada como herramienta esencial para la comparación e identificación.

La obra también dedica un espacio fundamental a la lofoscopia y dactiloscopia. Más allá de la clasificación histórica de arcos, lazos y verticilos, se examina la metodología rigurosa de búsqueda de huellas latentes mediante iluminación especializada y el uso de tecnologías de vanguardia como el AFIS. La inclusión de la quiroscopia y pelmatoscopia subraya la importancia de las crestas papilares en áreas menos convencionales, pero igualmente críticas para la individualización de sospechosos.

Finalmente, este libro aboga por una química forense transdisciplinar. En un entorno criminal cada vez más complejo, la colaboración entre la química, biología, física y la informática no es opcional, sino imperativa y necesaria. Este enfoque holístico mejora la precisión en la reconstrucción de los hechos al mismo tiempo que garantiza que la justicia penal se sustente sobre pruebas científicas verificables y equitativas.

# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO.....</b>	<b>i</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>18</b>
<b>1 QUÍMICA FORENSE .....</b>	<b>18</b>
1.1 Origen y evolución de la ciencia forense .....	18
1.2 Historia antigua .....	19
1.3 La ciencia forense .....	21
1.4 Química en el contexto de la ciencia forense.....	22
1.5 Ciencias forenses, principio de Locard y redes en química forense.....	26
1.6 Escena del crimen y proceso científico forense .....	28
1.7 Protección de la escena del crimen .....	28
1.8 Evidencias e indicios.....	29
1.9 Búsqueda sistemática de evidencia .....	31

1.10	Estudio de las evidencias .....	32
1.11	Aspectos legales en el trabajo del químico forense .....	34
1.12	Informe pericial.....	36
1.13	Importancia del informe pericial en el proceso judicial.....	38
1.14	Vestigios de interés químico forense.....	40
1.15	Aseguramiento de la calidad en química forense.....	49
1.16	Inteligencia forense .....	52
<b>CAPÍTULO II .....</b>		<b>57</b>
<b>2</b>	<b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE QUÍMICA FORENSE .....</b>	<b>57</b>
2.1	Pruebas y análisis en química forense.....	57
2.2	Recolección y remisión de muestras objeto de análisis químico forense .....	59
2.3	Fase preanalítica.....	60
2.4	Recomendaciones para la recogida de muestras de sangre y cabellos.....	61
2.5	Técnicas de análisis de interés químico forense .....	64
2.6	Técnicas con alta capacidad identificativa .....	65
2.7	Técnicas separativas con capacidad identificativa intermedia...	66

2.8	Técnicas con poca capacidad identificativa .....	67
2.9	Principios generales e instrumentación básica de las técnicas de análisis en química forense .....	70
2.10	Técnicas microscópicas.....	70
2.11	Técnicas espectrofotométricas en química forense .....	73
2.12	Técnicas separativas en química forense .....	76
2.13	Gestión de la calidad y análisis de datos en química forense ....	80
2.14	Trazabilidad y exactitud.....	83
2.15	Incertidumbre y variabilidad.....	84
2.16	Introducción a la quimiometría .....	84
2.17	Información químico forense .....	84
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>90</b>
<b>3</b>	<b>QUÍMICA FORENSE TOXICOLÓGICA .....</b>	<b>90</b>
3.1	Sustancias psicoactivas .....	92
3.2	Dosis tóxica y dosis letal.....	94
3.3	Toxicología forense .....	96
3.4	Venenos en toxicología forense.....	98

3.5	Investigación de incendios .....	99
3.6	Explosivos y explosiones .....	101
3.7	Análisis forense de residuos de disparos.....	106
3.8	Análisis forense de fibras y pinturas .....	111
3.9	Análisis forense de vidrios y suelos.....	118
3.10	Aspectos químico forense de documentos cuestionados .....	125
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>133</b>
<b>4</b>	<b>REVELADO DE HUELLAS DACTILARES .....</b>	<b>133</b>
4.1	Revelado de huellas dactilares .....	134
4.2	Piel de fricción, morfología de las crestas papilares .....	136
4.3	Lofoscopia y dactiloscopia.....	137
4.4	Tipos de huellas dactilares .....	138
4.5	Búsqueda de huellas dactilares latentes .....	139
4.6	Técnicas de revelado de huellas dactilares latentes .....	140
4.7	Otras huellas como elementos de identificación.....	141
4.8	Importancia del revelado de huellas dactilares .....	142

4.9	Huellas dactilares y sus comienzos en los tribunales de justicia	143
4.10	Química forense transdisciplinar.....	145
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>149</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Elementos de la Evaluación por cada parcial. ....	xvi
<b>Tabla 2.</b> Clasificación forense de los explosivos.....	103
<b>Tabla 3.</b> Métodos de Recolección de Residuos de Disparo (GSR). .	108
<b>Tabla 4.</b> Composición de los residuos de disparo.....	110
<b>Tabla 5.</b> Clasificación taxonómica de fibras forenses. ....	113
<b>Tabla 6.</b> Evolución y conceptos de la identificación dactilar. ....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Resumen de las actividades y procesos que se llevan a cabo en el laboratorio. Los tres temas principales son: estadística, metrología y garantía de la calidad de los datos. ....	81
<b>Figura 2.</b> Resumen de estrategias para extracción de información según el requerimiento. ....	85
<b>Figura 3.</b> La química del fuego.....	100

## INTRODUCCIÓN

El presente texto tiene como objetivo proporcionar a los estudiantes de la carrera de Criminalística una base teórica y práctica en temas fundamentales de los principios básicos de química. A lo largo de este documento, abordaremos de manera exhaustiva cuatro áreas clave: química forense, pruebas y análisis de química forense, química forense toxicológica y revelado de huellas dactilares.

En primer lugar, se introduce a los estudiantes en el fascinante campo de la Química Forense, donde aprenderán a identificar y analizar vestigios de interés químico en escenas del crimen (Devlin et al., 2024). Explorarán cómo la inteligencia forense y el aseguramiento de la calidad son fundamentales para garantizar la validez de los resultados de los análisis. Los estudiantes se familiarizarán con los principios y técnicas esenciales que sustentan la Química Forense, permitiéndoles comprender la importancia de un análisis preciso y riguroso en la resolución de casos criminales (Woodman et al., 2020).

En la segunda unidad, los estudiantes profundizarán en las etapas básicas del análisis químico forense, desde la recolección y remisión de muestras hasta las fases preanalítica, analítica y post analítica. Aprenderán sobre las diversas técnicas utilizadas en el análisis químico forense, incluidas las técnicas microscópicas, espectrométricas y separativas, así como sobre el tratamiento de datos y la importancia de la trazabilidad y exactitud en los resultados (Sijen & Harbison, 2021). Además, se abordará la forma correcta de localizar, recoger y transportar evidencias biológicas, como sangre, semen y otros fluidos corporales, y

se examinarán las pruebas químicas y análisis de ADN aplicados en el ámbito forense.

La tercera unidad se centra en la química forense aplicada al campo de la toxicología, donde los estudiantes aprenderán sobre sustancias psicoactivas, venenos, y el análisis forense de residuos de disparos, incendios, explosivos, fibras, pinturas, vidrios y suelos (Ikbal et al., 2024). Se explorarán los aspectos químicos involucrados en la investigación de documentos cuestionados, proporcionando una comprensión integral de cómo la química forense se utiliza para investigar e interpretar casos relacionados con la toxicología y otras áreas críticas en la investigación criminal.

La última unidad aborda una de las técnicas más emblemáticas de la criminalística: el revelado de huellas dactilares (Gomes et al., 2023). Los estudiantes aprenderán sobre la historia y evolución de esta técnica, la morfología de las crestas papilares y los diferentes tipos de huellas. Se cubrirán las técnicas para revelar huellas latentes y se explorarán otras huellas como elementos de identificación. Esta unidad resaltarán la importancia del revelado de huellas en la identificación de sospechosos y su relevancia en los tribunales de justicia. Además, se discutirá la naturaleza transdisciplinar de la química forense, destacando su aplicación en diversos contextos dentro de la investigación criminal.

En este curso, se abordará de manera integral cómo la inteligencia artificial, IA, proporciona un soporte a la química forense, potenciando la precisión y eficiencia en el análisis de evidencias y la interpretación de datos complejos (Kumat, 2025). Los estudiantes explorarán

aplicaciones de la IA en áreas como la identificación de patrones, el procesamiento de imágenes y la automatización de técnicas analíticas, lo que les permitirá entender cómo estas herramientas avanzadas han transformado la práctica forense. Todas las temáticas del curso serán desarrolladas mediante la modalidad semipresencial, combinando sesiones presenciales para prácticas y discusiones en profundidad (Unidades 2 y 4), con actividades en línea que faciliten la flexibilidad y el aprendizaje autónomo (Unidades 1 y 3).

### **Orientaciones generales para el estudio**

- Revisar a profundidad este documento: familiarícese con el objetivo del curso, así como con los temas y subtemas desarrollados.
- Visitar permanentemente la plataforma Entorno Virtual de Aprendizaje, sitio donde encontrará todo el material didáctico por unidades para el desarrollo de la asignatura.
- Es obligación de los estudiantes preparar los temas, previa su asistencia a clases de acuerdo con la asignación programada para cada sesión.
- Visitar la biblioteca virtual con regularidad para sustentar las ideas expresadas en las actividades de aprendizaje.
- Cada estudiante construirá su propio Portafolio Académico físico y digital, avalado por la calificación del docente.

- Utilice recursos tecnológicos para el aprendizaje (mapas mentales, organizadores gráficos, presentaciones) en diferentes plataformas virtuales.

### **Objetivo general**

Desarrollar en los estudiantes de la carrera de criminalística la capacidad de aplicar conocimientos de química forense en la investigación criminal, enfocado en la identificación, análisis e interpretación de evidencias químicas, toxicológicas y biológicas, así como en el uso de técnicas especializadas para el revelado de huellas dactilares, con potencial uso en la resolución de casos criminales.

### **Planificación del trabajo**

La asignatura Química Forense, está compuesta por 4 unidades didácticas, las que han sido diseñadas para que los estudiantes construyan su conocimiento en torno a las temáticas propuestas y logren alcanzar los resultados de aprendizaje, descritos en la guía de la asignatura.

En cada unidad los estudiantes tendrán contacto virtual con el profesor, realizarán actividades individuales, grupales con acompañamiento, supervisión y guía del docente; para lo cual, el estudiante deberá dedicar tiempo y esfuerzo de manera autónoma, para cumplir con las tareas y actividades de aprendizaje planificadas.

Tomando en cuenta que el 33,3 % corresponde al aprendizaje en contacto con el docente; el 22,2 % están asignadas al aprendizaje

práctico experimental desarrolladas por el estudiante y el 44,5 % refiere al aprendizaje autónomo del estudiante. Haciendo especial énfasis en la cátedra que se llevará totalmente en línea, por tanto, los encuentros síncronos se desarrollarán con el uso de las plataformas de comunicación e interacción que proporciona la Universidad Estatal de Bolívar.

Tomando en cuenta que el 33,3 % corresponde al aprendizaje en contacto con el docente; el 22,2 % están asignadas al aprendizaje práctico experimental desarrolladas por el estudiante y el 44,5 % refiere al aprendizaje autónomo del estudiante. Haciendo especial énfasis en la cátedra que se llevará en modalidad semipresencial.

Adicionalmente, en cuanto a los niveles de Interacción sincrónica de la Docencia – Tutoría virtual, en nuestro caso, por ser una asignatura de modalidad semipresencial la interacción será 60% virtual con el uso de las plataformas de comunicación e interacción que proporciona la Universidad Estatal de Bolívar, y 40% presencial en la Extensión de San Miguel de Bolívar.

Durante el progreso de la asignatura el estudiante desarrolla algunas actividades que tiene especial importancia y son:

- 1) Entrega de trabajos individuales y/o grupales, participación en foros, chats académicos, evaluaciones, entre otras actividades; se desarrollarán a través del entorno virtual de enseñanza aprendizaje con el que cuenta la Universidad Estatal de Bolívar (EVEA-UEB),

los mismo que serán planificados y notificados en los encuentros académicos sincrónicos.

- 2) Desarrollo de exposiciones de los trabajos grupales y/o individuales, trabajos de investigación, resolución de ejercicios, se lo realizará utilizando herramientas tecnológicas o pedagógicas que el estudiante conozca y domine.
- 3) Explicación de los temas planteados en esta guía, respuestas a las inquietudes de los estudiantes se llevará a cabo en los encuentros sincrónicos, cabe mencionar que los estudiantes deberán analizar los contenidos, previo el encuentro académico.

Por otro lado, en cuando a los resultados de aprendizaje de este curso se tiene que:

- El estudiante será capaz de conocer las características y elementos de estudio de la escena del crimen.
- El estudiante estará en capacidad de describir el significado de química forense en sus distintos ámbitos de aplicación.

### **Sistema de evaluación**

El proceso de la evaluación de los aprendizajes es continuo durante el desarrollo de todo el curso, contempla dos parciales con la valoración en aspectos relacionados con:

- a. Aprendizaje en contacto con el docente.

- Conclusiones, Ensayos, Resúmenes, Análisis de casos.
  - Test por unidad de 10 preguntas.
- b. Aprendizaje práctico-experimental.
- Informes de APE.
- c. Aprendizaje autónomo, resumen;
- Infografías.
  - Mapas mentales.
  - Términos epistemológicos.
  - Test.
- d. Evaluación parcial de los aprendizajes.

Cuestionarios con 10 preguntas.

En la tabla 1 se describen los elementos y valoración, que integran cada evaluación.

*Tabla 1. Elementos de la Evaluación por cada parcial.*

<b>Actividad</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Ponderación en cada parcial</b>
Aprendizaje en contacto con el docente	2,50	1,25

Aprendizaje práctico-experimental	2,00	1,00
Aprendizaje autónomo	2,00	1,00
Evaluación parcial de los aprendizajes	3,50	1,75
<b>TOTAL</b>	<b>10 puntos</b>	<b>5 puntos</b>

---

# CAPÍTULO I

## 1 QUÍMICA FORENSE

**Resultado de aprendizaje:** Al finalizar esta unidad, los estudiantes serán capaces de explicar los principios fundamentales de la química forense y aplicarlos en la identificación y análisis de diferentes tipos de evidencias en la escena del crimen, reconociendo su importancia dentro del proceso judicial.

### 1.1 Origen y evolución de la ciencia forense

La ciencia forense, en su esencia, representa la intersección entre la ciencia y la ley, un campo que ha evolucionado a lo largo de siglos para convertirse en una herramienta indispensable en la búsqueda de la verdad en el ámbito judicial (Nteziryayo et al., 2024).

Desde sus humildes comienzos en las antiguas civilizaciones, donde se empleaban métodos básicos para resolver crímenes, hasta el desarrollo de tecnologías avanzadas y técnicas científicas en el siglo XXI, la ciencia forense ha experimentado una transformación importante (Chango et al., 2024).

Este recorrido histórico, por una parte, revela la creciente complejidad y precisión de los métodos forenses, y por otra, la manera en que la sociedad ha llegado a depender de la ciencia para la administración de justicia.

Explorar el origen y la evolución de la ciencia forense nos permite comprender cómo han surgido y perfeccionado las técnicas que hoy consideramos fundamentales en la resolución de crímenes.

Desde las primeras observaciones empíricas en la Antigua China hasta los desarrollos sistemáticos en Europa durante el Renacimiento, y posteriormente, la revolución forense en los siglos XIX y XX, cada etapa de este viaje ha contribuido a establecer las bases de la ciencia forense moderna (Morrison, 2022).

La historia de este campo nos enseña que la innovación científica y tecnológica es vital para enfrentar los desafíos del crimen en una sociedad en constante cambio.

La ciencia forense tiene sus raíces en la antigüedad, cuando se empleaban métodos rudimentarios para resolver crímenes (He et al., 2025).

Las primeras evidencias del uso de la ciencia para la resolución de crímenes se remontan a la antigua China, donde se utilizaba la "sangría" para distinguir entre muertes naturales y homicidios.

## **1.2 Historia antigua**

**Antigua China (1235 d.C.):** En el texto chino Hsi Duan Yu (El lavado de los agravios), se describe cómo una sospecha de asesinato se resolvió observando el comportamiento de las moscas ante un arma que había sido lavada pero aún tenía rastros de sangre.

**Roma y Grecia antiguas:** En Roma, los médicos eran llamados a testificar en casos de asesinato, marcando uno de los primeros usos de la medicina en un contexto legal.

**Edad media y renacimiento:** Durante la Edad Media, la aplicación de la ciencia en la resolución de crímenes fue limitada. Sin embargo, en el Renacimiento, con el resurgimiento del interés por la ciencia, se hicieron avances importantes.

**Italia (1600s):** Fortunato Fidelis y Paolo Zacchia son considerados los primeros en estudiar la medicina forense de manera sistemática.

**Siglo XIX:** Este siglo marcó el comienzo de la ciencia forense moderna con el desarrollo de técnicas como la identificación de venenos, balística y huellas dactilares.

**Alphonse Bertillon (1853-1914):** Desarrolló el sistema de "Bertillonaje", un método para identificar criminales basándose en mediciones físicas.

**Sir Francis Galton (1892):** Publicó Fingerprints, que estableció las huellas dactilares como un método fiable de identificación.

**Siglo XX:** El siglo XX vio la expansión masiva de la ciencia forense con la creación de laboratorios forenses y el uso de tecnologías avanzadas.

**Edmond Locard (1910):** Fundó el primer laboratorio de criminología en Lyon, Francia, y es conocido por el "Principio de Intercambio de Locard", que establece que "todo contacto deja un rastro".

### **1.3 La ciencia forense**

La ciencia forense es la aplicación de principios científicos para resolver preguntas de interés legal. Su campo de acción incluye varias disciplinas científicas, como biología, química, física, y medicina (Sosa-Reyes et al., 2022).

#### ***1.3.1 Principales disciplinas forenses***

- **Biología forense:** Análisis de ADN, fluidos corporales, y restos biológicos.
- **Toxicología forense:** Estudio de sustancias tóxicas, drogas y venenos en el cuerpo.
- **Antropología forense:** Estudio de restos humanos para determinar la identidad y la causa de muerte.
- **Entomología forense:** Uso de insectos para estimar el tiempo de muerte.
- **Balística forense:** Estudio de armas de fuego y municiones.

### ***1.3.2 Importancia de la ciencia forense***

La ciencia forense juega un papel importante en la investigación criminal al proporcionar pruebas científicas que pueden ser presentadas en los tribunales. Es una herramienta rigurosa para la justicia, ya que puede establecer la culpabilidad o inocencia de un sospechoso (Ayub et al., 2025).

## **1.4 Química en el contexto de la ciencia forense**

La química forense aplica principios y técnicas “químicas” para el análisis de evidencia física relacionada con crímenes. Los químicos forenses analizan sustancias como drogas, explosivos, venenos, y otros materiales para identificar su composición y origen (Metzinger & Szoldán, 2022).

### ***1.4.1 Áreas clave de la química forense***

- **Análisis de drogas:** Identificación de sustancias controladas y drogas ilegales en muestras de sangre, orina o cabello.
- **Toxicología forense:** Detección de alcohol, drogas y venenos en fluidos corporales y tejidos.
- **Análisis de materiales:** Estudio de fibras, pinturas, vidrios y otros materiales no biológicos encontrados en la escena del crimen.
- **Química de explosivos:** Análisis de restos de explosivos y materiales relacionados para determinar el tipo de explosivo utilizado.

- **Cromatografía y espectrometría de masas:** Técnicas fundamentales en el análisis químico forense para separar e identificar compuestos químicos.

#### ***1.4.2 Importancia de la química en la ciencia forense***

La química forense es básica para la identificación de sustancias, reconstrucción de eventos, y validación de teorías durante la investigación criminal (Ahmed et al., 2022). Proporciona pruebas objetivas que son vitales para la resolución de casos en los tribunales.

#### **Resoluciones prácticas**

- Ejercicio 1:

Pregunta: Describa cómo la aplicación del "Principio de Intercambio de Locard" puede ayudar en la resolución de un caso de robo.

Resolución:

El "Principio de Intercambio de Locard" establece que "todo contacto deja un rastro". En el caso de un robo, el ladrón podría dejar huellas dactilares, fibras de su ropa, cabello, o incluso rastros de sangre en la escena del crimen. A su vez, podría llevarse consigo fibras o partículas de la escena (por ejemplo, pintura de una ventana rota o polvo). Los investigadores pueden recolectar estas evidencias y analizarlas para identificar al sospechoso y vincularlo con el crimen.

- Ejercicio 2:

Pregunta: ¿Cómo ha evolucionado la aplicación de la química en la ciencia forense desde el siglo XIX hasta la actualidad?

Resolución:

En el siglo XIX, la química forense estaba en sus primeras etapas, enfocándose principalmente en la identificación de venenos y sustancias tóxicas, como lo demuestran los trabajos pioneros de Mathieu Orfila en toxicología. Con el tiempo, el campo se expandió para incluir análisis más sofisticados, como la cromatografía y la espectrometría de masas, que permiten la identificación inequívoca de compuestos químicos. En la actualidad, la química forense incluye los análisis de drogas, explosivos, y otros materiales, utilizando tecnologías avanzadas que proporcionan resultados rápidos y precisos, esenciales para las investigaciones criminales.

- Ejercicio 3:

Pregunta: Explique el rol de la cromatografía en la química forense y proporcione un ejemplo de su aplicación.

Resolución:

La cromatografía es una técnica utilizada para separar los componentes de una mezcla, permitiendo su análisis individual. En química forense, se utiliza para identificar y cuantificar sustancias en muestras complejas. Por ejemplo, en el análisis de drogas, la cromatografía de gases se puede

emplear para separar los componentes de una muestra de sangre y detectar la presencia de sustancias ilegales, ayudando a establecer si un individuo estaba bajo la influencia de drogas en el momento de un crimen.

### **Resumen:**

La ciencia forense ha evolucionado desde sus inicios en la antigüedad hasta convertirse en un pilar principal de la justicia moderna. Sus primeras aplicaciones se remontan a la antigua China, donde métodos rudimentarios como la observación de insectos ayudaban a resolver crímenes.

A lo largo de la historia, figuras clave como Alphonse Bertillon y Edmond Locard establecieron métodos y principios que han perdurado en el tiempo, como el sistema de identificación de Bertillon y el Principio de Intercambio de Locard.

Durante el Renacimiento, el interés renovado por la ciencia permitió avances en la medicina legal, sentando las bases para el desarrollo de técnicas más sofisticadas en los siglos siguientes.

El siglo XIX marcó un punto de inflexión con el surgimiento de la toxicología forense y la identificación de huellas dactilares, lo que permitió un análisis más riguroso y sistemático de las evidencias criminales.

En el siglo XX, la creación de laboratorios forenses y la adopción de tecnologías avanzadas como la cromatografía y la espectrometría de

masas transformaron la investigación criminal, proporcionando herramientas precisas para la identificación de sustancias y la reconstrucción de eventos.

Este recorrido histórico demuestra cómo la ciencia forense ha pasado de ser una disciplina incipiente a una ciencia sofisticada, esencial para la resolución de crímenes y la administración de justicia en la sociedad contemporánea.

### **Conclusiones:**

La química forense es una disciplina que aplica principios y técnicas de la química para analizar evidencias físicas relacionadas con crímenes, como drogas, explosivos, venenos, y materiales desconocidos. Mediante el uso de métodos avanzados como la cromatografía y la espectrometría de masas, los químicos forenses identifican y cuantifican sustancias en muestras de sangre, cabello, tejidos, y otros materiales, proporcionando pruebas objetivas que son esenciales en la investigación criminal y en la administración de justicia.

Este campo juega un papel importante en la identificación de sustancias, reconstrucción de eventos criminales, y validación de teorías durante las investigaciones.

### **1.5 Ciencias forenses, principio de Locard y redes en química forense**

Las ciencias forenses y la criminalística representan la convergencia entre la ciencia y el sistema judicial, donde se utilizan diversas

disciplinas científicas para investigar crímenes, identificar culpables y exonerar inocentes.

A través de técnicas especializadas en biología, química, física y otras ciencias, los profesionales forenses recopilan y analizan evidencias físicas que son primordiales para resolver casos criminales (Harshey et al., 2023).

La criminalística, como subdisciplina de las ciencias forenses, se enfoca en la aplicación de métodos científicos para la reconstrucción de hechos delictivos, empleando un enfoque sistemático y metodológico para asegurar la integridad de la investigación.

Un concepto central en las ciencias forenses es el "Principio de Intercambio de Locard", que establece que "todo contacto deja un rastro". Este principio es básico para el proceso científico forense, ya que implica que cada vez que una persona entra en contacto con un objeto o un entorno, se produce un intercambio de materiales. Este intercambio, que puede incluir fibras, huellas dactilares, ADN, entre otros, proporciona las pistas necesarias para reconstruir los eventos y establecer conexiones entre el sospechoso, la víctima y la escena del crimen.

Aplicar el Principio de Locard dentro de un marco científico riguroso es clave para la validez de las conclusiones forenses.

La química forense, como parte integral de las ciencias forenses, ha desarrollado redes y grupos de trabajo especializados que colaboran a nivel nacional e internacional para mejorar los métodos de análisis,

compartir conocimientos y establecer estándares globales en la práctica forense.

Estas redes permiten a los químicos forenses intercambiar experiencias, participar en investigaciones conjuntas y mantenerse actualizados con los últimos avances tecnológicos y metodológicos. La colaboración entre profesionales de diferentes países y disciplinas asegura que la química forense siga siendo una herramienta eficaz y en constante evolución dentro del campo de la criminalística.

### **1.6 Escena del crimen y proceso científico forense**

La escena del crimen es el lugar donde se ha cometido un delito y donde se encuentran las evidencias que permitirán a los investigadores reconstruir los hechos. Es el punto de partida vital para cualquier investigación criminal, ya que el manejo adecuado de la escena y las evidencias determina la calidad de la investigación posterior.

El proceso científico forense en la escena del crimen involucra la recolección, preservación y análisis de evidencias, siguiendo procedimientos meticulosos que garantizan la integridad y validez de las pruebas en un tribunal de justicia.

### **1.7 Protección de la escena del crimen**

Proteger la escena del crimen es el primer paso para evitar la contaminación o alteración de las evidencias. Esto implica acordonar el área, limitar el acceso solo a personal autorizado, y documentar cualquier movimiento dentro y fuera de la escena.

Una vez asegurada, los investigadores pueden comenzar a buscar y recolectar evidencias sin comprometer su estado original. Es importante la protección adecuada de la escena para mantener la cadena de custodia y asegurar que las pruebas recolectadas sean admisibles en un juicio.

Ejemplo:

En un caso de homicidio en una vivienda, la policía acordona la casa, impidiendo el acceso de curiosos y manteniendo un registro de todos los que entran y salen. Los investigadores usan guantes y ropa protectora para evitar contaminar la escena. Todo esto asegura que las huellas dactilares, fibras, o cualquier otra evidencia, se mantengan intactas para su análisis posterior.

## **1.8 Evidencias e indicios**

Las evidencias son los objetos físicos que se pueden presentar en un tribunal como prueba de un delito. Los indicios son las pistas que sugieren la existencia de una relación entre el crimen y la evidencia.

Las evidencias pueden ser de naturaleza física, biológica o digital, y su análisis es requerido para establecer lo ocurrido en la escena del crimen.

Ejemplo:

En un robo, las evidencias pueden incluir herramientas utilizadas para forzar la entrada, huellas dactilares en las puertas, y fibras de la ropa del sospechoso. Los indicios, como un rastro de pisadas que lleva hacia la ventana rota, sugieren la ruta que tomó el ladrón.

### *1.8.1 Clasificación de las evidencias*

Las evidencias se clasifican generalmente en:

- Evidencias directas: Aquellas que por sí mismas pueden probar un hecho, como un testimonio de un testigo ocular o un video de vigilancia.
- Evidencias circunstanciales: No prueban el hecho de manera directa, pero permiten inferir que un hecho ocurrió, como las huellas dactilares o las manchas de sangre.
- Evidencias físicas: Objetos tangibles como armas, herramientas, o cualquier material relacionado con el crimen.
- Evidencias biológicas: Fluidos corporales, cabello, ADN, o restos humanos.
- Evidencias digitales: Datos de dispositivos electrónicos, como mensajes de texto, correos electrónicos, o registros de GPS.

Ejemplo:

En un caso de asalto, una huella dactilar encontrada en el arma utilizada es una evidencia física que puede relacionar al sospechoso con el crimen. El análisis de ADN de una gota de sangre en la escena proporciona una evidencia biológica que podría vincular a la víctima con el lugar del ataque.

## **1.9 Búsqueda sistemática de evidencia**

La búsqueda sistemática de evidencia es un proceso metódico donde los investigadores peinan la escena del crimen en busca de todas las posibles evidencias. Existen diferentes métodos de búsqueda, como:

- Búsqueda en línea recta: Ideal para áreas grandes y abiertas, donde los investigadores caminan en líneas rectas paralelas.
- Búsqueda en espiral: Útil en espacios pequeños, donde se inicia en un punto central y se extiende hacia afuera en espiral.
- Búsqueda en cuadrante: Se divide el área en secciones más pequeñas para que cada una sea examinada de manera exhaustiva.

Ejemplo:

En un parque donde ocurrió un homicidio, los investigadores dividen el área en cuadrantes y utilizan el método de búsqueda en línea recta para asegurar que cada centímetro del parque sea revisado. Encuentran una bala cerca de un árbol que se convierte en una evidencia importante.

### ***1.9.1 Selección de evidencias***

Una vez identificadas, las evidencias deben ser seleccionadas y priorizadas para su análisis en el laboratorio. La selección se basa en la relevancia potencial de la evidencia para el caso, la posibilidad de obtener resultados concluyentes y el estado de conservación de esta.

Ejemplo:

En un caso de incendio provocado, se encuentran varias latas de gasolina en la escena. Aunque todas las latas son relevantes, la que tiene huellas dactilares claras es seleccionada para un análisis prioritario, ya que podría vincular directamente al sospechoso con el incendio.

### **1.10 Estudio de las evidencias**

El estudio de las evidencias se realiza en laboratorios forenses donde se emplean técnicas avanzadas para analizar las pruebas recolectadas. Este proceso incluye:

- **Análisis químico:** Para identificar sustancias como drogas o explosivos.
- **Análisis biológico:** Para extraer y analizar ADN, sangre, y otros fluidos corporales.
- **Análisis físico:** Para examinar marcas, impresiones, o patrones que podrían coincidir con un arma o una herramienta.
- **Análisis digital:** Para recuperar datos borrados o escondidos en dispositivos electrónicos.

Ejemplo:

En un caso de envenenamiento, el análisis químico de la bebida de la víctima revela la presencia de un veneno poco común. Este hallazgo, combinado con el análisis biológico de los fluidos corporales de la víctima, confirma la causa de muerte y ayuda a identificar al sospechoso.

### ***1.10.1 Ejercicios y Soluciones***

- Ejercicio 1:

Pregunta: En una escena de robo, los investigadores encuentran una huella dactilar en la ventana rota, una pisada en el suelo y una colilla de cigarrillo cerca de la puerta. Clasifique estas evidencias y explique cuál debería ser priorizada para el análisis.

Solución:

- o La huella dactilar es una evidencia física directa, la pisada es una evidencia física circunstancial, y la colilla de cigarrillo puede considerarse evidencia biológica si contiene saliva (para análisis de ADN).
- o La huella dactilar debería ser priorizada, ya que puede proporcionar una identificación directa del sospechoso si hay una coincidencia en la base de datos.

- Ejercicio 2:

Pregunta: Durante la búsqueda sistemática en una escena de crimen en un campo abierto, los investigadores deben elegir entre los métodos de búsqueda en línea recta y en espiral. ¿Cuál método es más adecuado y por qué?

Solución:

El método de búsqueda en línea recta es más adecuado para un campo abierto, ya que permite cubrir una gran área de manera organizada y garantiza que no se pasen por alto posibles evidencias.

- Ejercicio 3:

Pregunta: Un equipo forense recolecta un cuchillo con posibles manchas de sangre y fibras de ropa. ¿Qué análisis deberían realizarse y cuál sería su objetivo?

Solución:

- Análisis biológico: Para confirmar si las manchas en el cuchillo son de sangre y, si es así, extraer ADN para identificar a la víctima o al agresor.
- Análisis de fibras: Para determinar si las fibras de ropa pertenecen a la ropa de la víctima o del sospechoso, ayudando a reconstruir el evento.

### **1.11 Aspectos legales en el trabajo del químico forense**

El trabajo del químico forense está íntimamente relacionado con el sistema legal, ya que sus análisis y conclusiones pueden influir directamente en el resultado de un caso judicial. Debido a esta responsabilidad, es fundamental que los químicos forenses comprendan y cumplan con las normativas legales que rigen su trabajo (Otteman et al., 2022). Esto incluye no solo la precisión y fiabilidad de los análisis, sino también el cumplimiento estricto de los procedimientos

establecidos, como la cadena de custodia, la elaboración de informes periciales y la presentación de pruebas en un tribunal.

### ***1.11.1 Cadena de custodia***

La cadena de custodia es el proceso que documenta la preservación, transferencia y manejo de las evidencias desde el momento en que se recolectan hasta que se presentan en el tribunal. Este procedimiento es determinante para asegurar que las evidencias no sean contaminadas, alteradas o manipuladas de manera indebida.

Cada persona que maneje la evidencia debe estar debidamente registrada, y todas las transferencias de esta deben ser documentadas con precisión (Rani et al., 2025).

### ***1.11.2 Elementos clave de la cadena de custodia***

Documentación completa: Cada transferencia de la evidencia debe ser registrada con detalles como la fecha, hora, personas involucradas, y las condiciones de la evidencia.

- **Seguridad:** La evidencia debe ser almacenada en un lugar seguro y bajo condiciones controladas para evitar su deterioro o manipulación.
- **Transparencia:** Todos los procedimientos relacionados con la evidencia deben ser transparentes y accesibles para ser auditados si es necesario.

Ejemplo:

Un frasco con una muestra de sangre recogida en una escena de crimen es etiquetado y registrado por el oficial que lo recolectó. Luego, la muestra es transferida al laboratorio, donde se documenta quién la recibió y en qué condiciones se almacenó antes del análisis. Este registro se mantiene hasta que la muestra se presenta como evidencia en el tribunal.

### **1.12 Informe pericial**

El informe pericial es el documento oficial en el que el químico forense presenta sus hallazgos y conclusiones derivados del análisis de las evidencias.

Este informe debe ser claro, conciso y comprensible para personas sin formación técnica, como jueces, abogados y jurados.

El informe pericial debe seguir un formato estandarizado y contener toda la información relevante que permita evaluar la validez de los resultados presentados (Mehltretter et al., 2023).

#### ***1.12.1 Componentes del informe pericial***

1. Identificación del caso:
  - Número de caso.
  - Nombres de las partes involucradas (si aplica).
  - Fecha de recepción de las evidencias.

- Identificación del perito (químico forense que realiza el análisis).
2. Descripción de la evidencia:
    - Descripción detallada de cada evidencia recibida, incluyendo su estado, etiquetado y condiciones de almacenamiento.
    - Información sobre la cadena de custodia.
  3. Métodos y procedimientos:
    - Descripción de los métodos científicos y procedimientos analíticos utilizados para examinar las evidencias.
    - Referencias a estándares o protocolos seguidos durante el análisis.
  4. Resultados del análisis:
    - Presentación clara y detallada de los resultados obtenidos durante el análisis.
    - Datos cuantitativos y cualitativos relevantes.
  5. Interpretación de los resultados:
    - Explicación de los resultados en el contexto del caso.
    - Conclusiones basadas en los hallazgos científicos.
  6. Conclusiones:
    - Opinión del perito basada en la evidencia analizada.

- Relevancia de los hallazgos en relación con el caso investigado.

#### 7. Firma y certificación:

- Firma del perito y la certificación de la autenticidad del informe.
- Fecha y lugar de la elaboración del informe.

#### **Ejemplo:**

En un caso de presunto envenenamiento, el químico forense redacta un informe pericial en el que describe las pruebas realizadas sobre una muestra de líquido encontrada en la escena del crimen. El informe detalla los métodos analíticos utilizados para detectar la presencia de un veneno específico, presenta los resultados obtenidos, y concluye que la sustancia encontrada coincide con el veneno sospechado, lo que respalda la hipótesis del envenenamiento.

### **1.13 Importancia del informe pericial en el proceso judicial**

El informe pericial es importante en el proceso judicial porque sirve como la base técnica y científica sobre la cual los jueces y abogados fundamentan sus argumentos y decisiones.

Un informe bien elaborado puede ser decisivo para establecer la culpabilidad o inocencia de un acusado. Además, debe ser capaz de soportar el escrutinio en el tribunal, donde puede ser objeto de interrogatorios y desafíos por parte de la defensa o la fiscalía.

El cumplimiento de los aspectos legales, la preservación de la cadena de custodia, y la elaboración de un informe pericial riguroso y bien documentado son primordiales para el trabajo del químico forense.

Estos elementos garantizan que las evidencias sean manejadas correctamente, que los resultados sean precisos y confiables, y que el informe pericial pueda ser utilizado de manera efectiva en el proceso judicial.

### **Resumen**

La escena del crimen es el punto de inicio crítico en cualquier investigación criminal, donde se recolectan las evidencias que luego serán fundamentales para la resolución del caso. El proceso científico forense implica la protección rigurosa de la escena, la búsqueda sistemática y la selección cuidadosa de evidencias que puedan proporcionar información clave. Las evidencias, que pueden ser físicas, biológicas o digitales, se clasifican y analizan en laboratorios forenses mediante técnicas especializadas que permiten reconstruir los hechos delictivos. Cada paso del proceso, desde la protección de la escena hasta el estudio detallado de las evidencias, es determinante para asegurar que la investigación sea precisa y que las pruebas sean admisibles en un tribunal de justicia.

### **Conclusiones**

El manejo adecuado de la escena del crimen y el proceso científico forense son esenciales para una investigación exitosa. La protección de la escena del crimen garantiza que las evidencias no se contaminen,

mientras que la búsqueda sistemática y la selección cuidadosa de pruebas aseguran que ninguna evidencia clave sea pasada por alto. La clasificación y el análisis de estas evidencias, utilizando técnicas avanzadas, son básicas para reconstruir los eventos y establecer conexiones entre los sospechosos, las víctimas y la escena del crimen. Finalmente, la aplicación rigurosa de métodos científicos en la criminalística fortalece la investigación y garantiza que la justicia se administre de manera precisa y equitativa.

#### **1.14 Vestigios de interés químico forense**

Los vestigios de interés químico forense son aquellos residuos o sustancias que, aunque pueden ser invisibles o pasar desapercibidos a simple vista, tienen un valor significativo en la investigación de un delito. Estos vestigios incluyen, pero no se limitan a, restos de explosivos, narcóticos, venenos, materiales combustibles, y sustancias tóxicas.

Los químicos forenses utilizan una variedad de técnicas analíticas, como cromatografía, espectrometría de masas y microscopía, para identificar y cuantificar estos vestigios, lo que puede proporcionar evidencia crucial en casos criminales (Metzinger et al., 2025).

##### ***1.14.1 Descripción de los términos: Vestigio, indicio y evidencia***

###### **1. Vestigio**

- Definición según la RAE (23ª edición, 2014): Es un indicio que permite deducir la verdad de algo o avanzar en la investigación de ello.
- Connotación distintiva: Se refiere a cualquier rastro material en la escena de un crimen que puede proporcionar información relevante sobre los hechos ocurridos. En el contexto forense, el término se asocia con las huellas o señales que pueden ser analizadas para entender un suceso.

## 2. Indicio

- Definición según la RAE (23ª edición, 2014): Se describe como un fenómeno que ayuda a conocer o inferir la existencia de otro fenómeno no percibido directamente. También puede referirse a una pequeña cantidad de algo que no es suficientemente evidente o significativa por sí sola.
- Connotación distintiva: En el ámbito forense, los indicios comprenden todos los actos, hechos, circunstancias y efectos observables que, mediante lógica y razonamiento, permiten inferir otros hechos que no son evidentes.

## 3. Evidencia

- Definición según la RAE (23ª edición, 2014): Se define como una prueba determinante en un proceso judicial.

- Connotación distintiva: En la práctica forense, la evidencia se refiere a un vestigio que, tras ser sometido a análisis e interpretación, proporciona una prueba clara y concluyente que establece una conexión directa con un hecho delictivo.

#### ***1.14.2 Tipos de vestigios químicos***

1. Explosivos: Restos de explosivos, como nitroglicerina o TNT, que pueden encontrarse en fragmentos de bombas o en la ropa de sospechosos.
  - Ejemplo: Tras una explosión en un edificio, se encuentran trazas de TNT en los escombros. El análisis químico confirma el uso de un explosivo de alta potencia, lo que guía a los investigadores hacia sospechosos con acceso a este tipo de material.
2. Narcóticos: Residuos de drogas ilícitas, como cocaína o metanfetamina, que pueden estar presentes en parafernalia, muestras biológicas o en la ropa de los sospechosos.
  - Ejemplo: Un químico forense analiza polvo blanco encontrado en la escena de un crimen y confirma que se trata de cocaína, vinculando así la escena con el tráfico de drogas.
3. Venenos: Sustancias tóxicas como arsénico, cianuro o pesticidas, que pueden ser utilizadas en homicidios.
  - Ejemplo: En un caso de envenenamiento, el análisis químico de una taza de café revela la presencia de cianuro, confirmando la

causa de muerte y guiando la investigación hacia posibles sospechosos.

4. Materiales combustibles: Líquidos inflamables como gasolina o alcohol, utilizados para iniciar incendios provocados.
  - Ejemplo: Tras un incendio, se identifican restos de gasolina en los escombros, lo que sugiere que el fuego fue intencionalmente provocado.

### ***1.14.3 Importancia de los vestigios químicos***

La detección y análisis de estos vestigios permiten reconstruir eventos, identificar a los responsables y establecer conexiones entre las evidencias y los sospechosos. La precisión en el análisis de estos vestigios es útil para asegurar que la evidencia sea admisible en un tribunal y para que las conclusiones forenses sean científicamente válidas.

Es importante considerar que la Química Forense, al igual que otras disciplinas científicas, se fundamenta en el método científico. Cuando se presenta una consulta judicial sobre un vestigio específico en el laboratorio, es necesario recopilar datos y resultados analíticos que faciliten una conclusión precisa para el sistema judicial.

Esta conclusión debe proporcionar detalles sobre la fuente y/o la actividad relacionada con el vestigio en cuestión. Para lograrlo, se aplica el método científico, que sigue un procedimiento sistemático dividido en varias etapas.

#### ***1.14.4 Aplicación del método científico en la investigación química forense***

El proceso de análisis en el laboratorio forense no es una simple ejecución de pruebas, sino una aplicación sistemática del método científico para garantizar que los resultados sean admisibles ante la justicia. Este proceso se estructura en cuatro etapas críticas:

- **Etapa 1:** Observación y documentación. Consiste en el examen inicial de los vestigios, donde se realiza una descripción detallada de las propiedades físicas de la muestra y se documenta su estado de recepción.
- **Etapa 2:** Predicción e hipótesis. A partir de la observación, el químico formula una hipótesis sobre la naturaleza de la sustancia (por ejemplo, la presencia de un metabolito específico) y predice qué reacciones químicas deberían ocurrir.
- **Etapa 3:** Experimentación y análisis. Se seleccionan y ejecutan las técnicas analíticas (pruebas de orientación y técnicas instrumentales de confirmación) diseñadas específicamente para validar o refutar la hipótesis planteada.
- **Etapa 4:** Verificación y conclusión. Si los resultados confirman la hipótesis, se procede a la emisión de conclusiones. En caso negativo, el científico debe retornar a la etapa de hipótesis para reformular el planteamiento basado en los nuevos datos obtenidos, asegurando un ciclo de mejora continua y precisión.

Ejemplo: Robo a un restaurante. Llegan al laboratorio forense fragmentos del vidrio de seguridad de una ventana del restaurante y pequeñísimos fragmentos de vidrio encontrados en el maletero del vehículo del presunto autor. Las etapas que se deben seguir según el método científico son: Etapa 1 observación, Etapa 2: hipótesis y predicción, Etapa 3: Experimentación y análisis y Etapa 4: Conclusiones.

## **Respuesta**

Como químico forense, se debe seguir el método científico para analizar y comparar los fragmentos de vidrio encontrados en la escena del robo de un restaurante con los fragmentos encontrados en el maletero del vehículo del presunto autor. A continuación, se desarrolla cada etapa del proceso:

- **Etapa 1: Observación**

Descripción de la situación:

Un restaurante ha sido víctima de un robo, y la ventana de seguridad del establecimiento fue rota durante el delito. Fragmentos de vidrio fueron recolectados de la escena del crimen (en este caso, de la ventana rota).

Posteriormente, durante la inspección del vehículo del presunto autor, se encontraron pequeños fragmentos de vidrio en el maletero.

Objetivo de la observación:

El objetivo es determinar si los fragmentos de vidrio encontrados en el maletero del vehículo del sospechoso provienen de la ventana rota del restaurante.

Recolección de evidencia:

- Fragmentos de vidrio recolectados de la ventana rota del restaurante.
- Fragmentos de vidrio encontrados en el maletero del vehículo del sospechoso.
- **Etapa 2: Hipótesis y predicción**

Hipótesis: Los fragmentos de vidrio encontrados en el maletero del vehículo del sospechoso provienen de la ventana de seguridad rota del restaurante donde ocurrió el robo.

Predicción: Si la hipótesis es correcta, entonces los fragmentos de vidrio recolectados en la escena del crimen (ventana rota del restaurante) y los fragmentos de vidrio encontrados en el maletero del vehículo del sospechoso deberían compartir las mismas características físicas y químicas, como composición elemental, índice de refracción, densidad, y patrones de fractura.

- **Etapa 3: Experimentación y análisis**

Procedimientos experimentales:

1. Análisis visual y morfológico:

- Examinar los fragmentos de vidrio bajo un microscopio para identificar características físicas como color, textura, grosor y patrones de fractura.
  - Comparar las características físicas de los fragmentos de vidrio de la ventana rota del restaurante y los fragmentos encontrados en el vehículo.
2. Medición del índice de refracción:
- Utilizar un refractómetro para medir el índice de refracción de los fragmentos de vidrio. El índice de refracción mide cómo la luz se dobla al pasar a través del vidrio.
  - Comparar los valores del índice de refracción de los fragmentos de la escena del crimen y los del vehículo del sospechoso.
3. Análisis de densidad:
- Determinar la densidad de los fragmentos de vidrio usando un método de flotación o un método de densimetría. Este análisis puede ayudar a distinguir entre diferentes tipos de vidrio.
  - Comparar las densidades de los fragmentos de vidrio de ambas fuentes.
4. Análisis elemental:
- Realizar un análisis elemental mediante técnicas como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente,

ICP-MS, o la espectroscopía de absorción atómica, AAS, para determinar la composición química del vidrio.

- Comparar la composición química de los fragmentos de la ventana del restaurante y los fragmentos encontrados en el maletero del vehículo.

Resultados esperados:

Si los fragmentos de vidrio encontrados en el vehículo del sospechoso provienen de la ventana rota del restaurante, se espera que todas las pruebas (índice de refracción, densidad, análisis morfológico y composición elemental) muestren coincidencias significativas entre los fragmentos de ambas fuentes.

En este contexto, sería necesario procesar los datos obtenidos utilizando análisis quimiométricos que permitan determinar la probabilidad de los resultados. A través de pruebas de contraste de hipótesis, se podrá establecer si existen diferencias significativas entre las muestras, basándose en un porcentaje determinado, generalmente el 95%.

- **Etapa 4: Conclusiones**

Análisis de resultados:

- **Coincidencias:** Si los resultados de los análisis muestran que los fragmentos de vidrio del vehículo del sospechoso y los de la ventana rota del restaurante comparten las mismas características físicas y químicas, se puede concluir que existe una alta

probabilidad de que ambos provengan de la misma fuente. Esto sugeriría que el vidrio encontrado en el maletero del vehículo del sospechoso proviene de la ventana rota del restaurante, fortaleciendo la hipótesis inicial.

- **Divergencias:** Si los resultados muestran diferencias significativas en cualquiera de las pruebas realizadas, la hipótesis de que los fragmentos de vidrio provienen de la misma fuente se debilita, sugiriendo que los fragmentos de vidrio en el maletero del vehículo del sospechoso podrían provenir de una fuente diferente.

**Conclusión:**

- Si todas las pruebas coinciden dentro del nivel de confianza establecido, se podría concluir con un alto grado de certeza que los fragmentos de vidrio encontrados en el vehículo del sospechoso provienen de la ventana rota del restaurante. Este hallazgo fortalecería la acusación contra el sospechoso.
- Si los resultados son inconsistentes, se debería considerar la posibilidad de otras fuentes de origen para los fragmentos de vidrio en el vehículo del sospechoso, lo que podría llevar a una reevaluación de la evidencia o la búsqueda de otros vínculos entre el sospechoso y el delito.

### **1.15 Aseguramiento de la calidad en química forense**

El aseguramiento de la calidad en química forense es un conjunto de procedimientos y estándares diseñados para garantizar que los análisis

forenses se realicen con la mayor precisión, exactitud y consistencia posible. La calidad en el trabajo forense implica tanto la aplicación correcta de métodos analíticos, como la validación continua de estos métodos, la calibración regular de los equipos, y la capacitación constante del personal.

### ***1.15.1 Elementos clave del aseguramiento de la calidad***

#### **1. Validación de Métodos:**

- Los métodos analíticos utilizados en química forense deben ser validados para asegurar que son adecuados para su propósito, es decir, que proporcionan resultados precisos, exactos y reproducibles bajo las condiciones específicas de la investigación forense.
- Ejemplo: Antes de utilizar un nuevo método de espectrometría de masas para identificar drogas en muestras de sangre, el laboratorio forense valida el método para asegurarse de que ofrece resultados consistentes y precisos.

#### **2. Control de Calidad:**

- Incluye la ejecución de controles internos y externos para monitorear la precisión de los análisis. Los laboratorios suelen analizar muestras de control conocidas para comparar los resultados con estándares aceptados.

- Ejemplo: Un laboratorio analiza una muestra de control con una concentración conocida de un narcótico antes de analizar muestras reales, garantizando así que el equipo y los procedimientos están funcionando correctamente.
3. Calibración de Equipos:
- Los instrumentos de análisis, como cromatógrafos y espectrómetros, deben ser calibrados regularmente para asegurar que sus lecturas sean precisas.
  - Ejemplo: Un cromatógrafo de gases es calibrado con una serie de estándares conocidos antes de ser utilizado para analizar muestras de explosivos.
4. Capacitación Continua del Personal:
- Los técnicos y científicos forenses deben recibir capacitación continua para mantenerse actualizados con los últimos avances en métodos analíticos y en los estándares de calidad.
  - Ejemplo: Un químico forense asiste a un taller sobre nuevas técnicas de análisis de ADN para mantenerse actualizado en las mejores prácticas y garantizar la calidad de su trabajo.

### ***1.15.2 Impacto del aseguramiento de la calidad en química forense***

Un sólido sistema de aseguramiento de la calidad garantiza que los resultados del análisis forense sean fiables y puedan resistir el escrutinio

en un tribunal. Esto refuerza la integridad del proceso judicial y asegura que las decisiones legales se basen en evidencia científicamente sólida.

## **1.16 Inteligencia forense**

La inteligencia forense es el proceso de recopilación, análisis y utilización de datos forenses para generar información útil que pueda asistir en la resolución de crímenes, la identificación de patrones criminales, y la prevención de futuros delitos. A diferencia de la investigación forense tradicional, que se enfoca en resolver un caso específico, la inteligencia forense busca detectar tendencias y patrones que puedan estar relacionados con actividades delictivas a gran escala o recurrentes (Delgado et al., 2021).

### ***1.16.1 Componentes de la inteligencia forense***

1. Recopilación de Datos Forenses:
  - Implica la recolección sistemática de datos provenientes de diferentes casos criminales, como huellas dactilares, perfiles de ADN, rastros de narcóticos, y otros tipos de evidencia.
  - Ejemplo: Un laboratorio forense centraliza los perfiles de ADN recolectados de varias escenas del crimen para identificar posibles conexiones entre delitos en diferentes jurisdicciones.
2. Análisis de Patrones:

- Utilizando técnicas estadísticas y herramientas de análisis de datos, los especialistas en inteligencia forense buscan patrones o coincidencias entre diferentes conjuntos de datos forenses.
- Ejemplo: Al analizar una serie de robos en diferentes ciudades, se descubre un patrón común en las huellas dactilares y en los métodos de entrada utilizados, lo que sugiere la existencia de una banda criminal organizada

### ***1.16.2 Interconexión de casos***

- La inteligencia forense permite conectar casos que, a simple vista, pueden parecer no relacionados. Esto es especialmente útil en la lucha contra el crimen organizado, el terrorismo, y otros delitos complejos.
- Ejemplo: El análisis forense vincula un conjunto de crímenes con explosivos similares y dispositivos electrónicos, sugiriendo que todos los incidentes fueron orquestados por el mismo grupo terrorista.

### ***1.16.3 Prevención y toma de decisiones***

- La información generada por la inteligencia forense es utilizada por las fuerzas del orden para tomar decisiones informadas, mejorar las estrategias de prevención del crimen, y coordinar operaciones de seguridad.

- Ejemplo: Con base en la inteligencia forense, la policía decide aumentar la vigilancia en ciertos vecindarios donde se han identificado patrones recurrentes de actividad criminal.

#### ***1.16.4 Aplicaciones de la Inteligencia Forense***

La inteligencia forense es especialmente valiosa en la lucha contra el crimen organizado, el terrorismo, y en la resolución de crímenes en serie. Al proporcionar una visión más amplia y conectar datos de múltiples fuentes, la inteligencia forense permite a las autoridades anticiparse a las acciones delictivas y actuar de manera proactiva, mejorando la efectividad en la prevención y resolución de delitos complejos.

#### **Resumen**

Los vestigios de interés químico forense, como restos de explosivos, narcóticos o venenos son importantes para la identificación y vinculación de evidencia en investigaciones criminales, permitiendo reconstruir eventos y conectar sospechosos con escenas del crimen. El aseguramiento de la calidad en química forense, a través de la validación de métodos, control de calidad y capacitación continua, es indispensable para garantizar la precisión y fiabilidad de los análisis, asegurando que los resultados sean admisibles en los tribunales y apoyen decisiones judiciales basadas en evidencia científica sólida. Por otro lado, la inteligencia forense aprovecha la recolección y análisis de datos forenses para identificar patrones criminales, interconectar casos y anticipar actividades delictivas.

## **Conclusiones**

En conclusión, la química forense desempeña un papel importante en el sistema de justicia, puesto que, identifica y analiza vestigios de interés como restos de explosivos y narcóticos, además, asegura que los métodos de análisis mantengan altos estándares de calidad y precisión. Por otro lado, la inteligencia forense complementa este proceso al ofrecer una perspectiva amplia y estratégica sobre patrones criminales y conexiones entre casos, mejorando así la capacidad de las autoridades para anticipar y prevenir delitos.

## **Proceso evaluativo**

### **Actividad de inicio:**

- Socializar el sílabo, guía metodológica y mostrar el buen uso de la plataforma del EVEA, lo que permitirá dar una panorámica integradora de los contenidos de la unidad.
- Los estudiantes hacen una lectura previa de los contenidos expuestos de la unidad de la guía.

### **Actividad de desarrollo:**

- A través de la técnica de lluvia de ideas aclarar conceptos sobre origen y evolución de la ciencia forense; la ciencia forense; la química en el contexto de la ciencia forense; ciencias forenses y criminalística; principio de Locard y proceso científico forense; química forense: redes y grupos de trabajo, vestigios de interés

químico forense; aseguramiento de la calidad en química forense; inteligencia forense.

- Empleando la técnica del debate, los estudiantes desarrollarán pensamiento crítico, que ayudará al desarrollo de las actividades.

**Actividad de cierre:**

- Utiliza el pensamiento crítico para desarrollar las actividades propuestas.
- Al finalizar la unidad 1, los estudiantes rendirán una prueba de los conocimientos adquiridos.

## CAPÍTULO II

### 2 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE QUÍMICA FORENSE

**Resultado de aprendizaje:** Al concluir esta unidad, los estudiantes estarán capacitados para realizar y documentar pruebas y análisis químicos forenses, utilizando técnicas instrumentales de análisis, con el fin de identificar y comparar evidencias químicas.

#### 2.1 Pruebas y análisis en química forense

La investigación forense debe iniciarse en el lugar donde ocurrió el delito o en los lugares sospechosos de serlo, es decir, en la escena del crimen. Por ello, es importante realizar una observación visual detallada de la escena, tomar fotografías y hacer videos para registrar la ubicación de los objetos, del cadáver o cadáveres (si los hay) y de cualquier resto que pueda contener indicios.

Estos elementos serán enviados al laboratorio para su análisis, y una vez evaluados, podrán ser utilizados como pruebas en los Tribunales de Justicia. Sin embargo, el proceso de estudio de las evidencias comienza ya en la misma escena del crimen (Wüllenweber & Giles, 2021).

##### *2.1.1 Etapas del análisis químico forense*

El análisis químico forense consta de varias etapas clave, cada una decisiva para asegurar la validez y precisión de los resultados:

1. Recepción de la muestra: Se recibe la muestra en el laboratorio forense, donde se verifica su integridad y se registra toda la información relevante (origen, fecha, hora, etc.).
2. Preparación de la muestra: Incluye el acondicionamiento y tratamiento de la muestra para su análisis. Esto puede involucrar el secado, trituración, disolución o concentración.
3. Análisis: La muestra preparada se somete a diversos métodos analíticos para identificar y cuantificar sus componentes. Esto puede incluir técnicas como cromatografía, espectroscopía y pruebas químicas específicas.
4. Interpretación de resultados: Los datos obtenidos se interpretan en el contexto del caso. Se debe considerar la posibilidad de interferencias, contaminación o errores en el análisis.
5. Informe forense: Se redacta un informe detallado que explica los resultados, el método utilizado y las conclusiones. Este informe debe ser claro y comprensible para ser utilizado en procedimientos judiciales.
6. Revisión y validación: Antes de la entrega del informe final, el análisis y los resultados suelen ser revisados por otros expertos para garantizar la precisión y fiabilidad.

## **2.2 Recolección y remisión de muestras objeto de análisis químico forense**

La recolección y remisión de muestras es una etapa crítica que requiere precisión y atención al detalle:

1. Planificación de la recolección: Determinar el tipo de muestra necesaria y la mejor forma de recogerla para evitar alteraciones o contaminación.
2. Equipo de recolección: Utilizar equipo adecuado y limpio, como guantes, frascos estériles y herramientas específicas para evitar la contaminación.
3. Procedimiento de recolección: Recoger las muestras siguiendo los protocolos establecidos. Etiquetar correctamente cada muestra con información detallada sobre su origen, fecha y hora de recolección.
4. Transporte y remisión: Transportar las muestras al laboratorio en condiciones que preserven su integridad. Esto puede implicar refrigeración, protección contra la luz o el uso de envases especiales.
5. Documentación: Mantener una cadena de custodia detallada que registre cada etapa del manejo de la muestra, desde la recolección hasta el análisis en el laboratorio.

## **2.3 Fase preanalítica**

La fase preanalítica es importante para asegurar que los resultados del análisis sean fiables y precisos. Incluye:

1. **Recepción y Registro de Muestras:** Asegurar que las muestras se reciban y registren correctamente en el laboratorio.
2. **Evaluación de la Muestra:** Verificar la condición y el estado de la muestra. Evaluar si es necesario realizar algún tratamiento previo al análisis.
3. **Preparación para el Análisis:** Preparar la muestra de acuerdo con el método analítico que se utilizará. Esto puede incluir procesos como la disolución, centrifugación o extracción.
4. **Control de Calidad:** Implementar controles de calidad para detectar y corregir posibles errores antes de comenzar el análisis.

### ***2.3.1 Ejercicios***

Ejercicio 1: Identificación de etapas del análisis

1. **Descripción:** Se le proporcionará a cada estudiante un caso forense ficticio con una muestra de evidencia. Deben identificar y describir las etapas del análisis químico forense que se aplicarían a la muestra.
2. **Objetivo:** Familiarizar a los estudiantes con el flujo de trabajo en el análisis químico forense.

- Caso 1: Muestra de sangre venosa periférica.
- Caso 2: Muestra de cabellos y pelos.

### **2.3.2 Resumen**

En la Unidad 2 de: *Pruebas y análisis de química forense*, se exploran las etapas esenciales del análisis químico forense, que incluyen la recepción, preparación, análisis, interpretación de resultados, y elaboración de informes.

La unidad también aborda la recolección y remisión de muestras, destacando la importancia de utilizar equipos adecuados y mantener una cadena de custodia rigurosa para preservar la integridad de las muestras. Se profundiza en la fase preanalítica, que involucra la evaluación y preparación de las muestras antes de su análisis, y la implementación de controles de calidad para asegurar resultados precisos.

Finalmente, se incluyen ejercicios prácticos para que los estudiantes puedan aplicar estos conceptos, desde la identificación de las etapas del análisis hasta la planificación de la recolección y el manejo de muestras en la fase preanalítica.

## **2.4 Recomendaciones para la recogida de muestras de sangre y cabellos**

**Contexto del caso:** Se te ha solicitado que elabores una guía detallada para la recogida y manejo de muestras biológicas en el ámbito forense. Tu tarea consiste en describir las recomendaciones específicas para la

recogida de: a) muestras de sangre venosa periférica y b) muestras de cabellos y pelos, siguiendo las directrices establecidas en la Orden 8030 JUS/1291/2010, de 13 de mayo, sobre normas para la preparación y remisión de muestras por el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses.

**Objetivo del ejercicio:** Desarrollar una descripción detallada de las recomendaciones y procedimientos para la correcta recogida y manejo de: a) muestras de sangre venosa periférica y b) muestras de cabellos y pelos, en un contexto forense.

**Descripción de la muestra de sangre venosa periférica:**

- Procedimiento de recogida:

Describe el proceso de recolección de sangre venosa periférica, incluyendo la selección del sitio de punción (como el pliegue del codo), el equipo necesario (aguja, tubo de recolecta con anticoagulante adecuado, etc.), y las técnicas para minimizar el riesgo de contaminación y hemólisis.

Explica la importancia de usar tubos de recogida adecuados y el tipo de anticoagulante recomendado.

- Recomendaciones de manejo:

Detalla cómo deben ser etiquetadas y almacenadas las muestras de sangre después de su recogida, incluyendo las condiciones de temperatura y el tiempo máximo para su remisión al laboratorio.

Incluye cualquier indicación especial sobre la preparación de la muestra para análisis toxicológicos o genéticos.

### **Descripción de la muestra de cabellos y pelos:**

- Procedimiento de recogida:

Explica el método adecuado para la recolección de cabellos y pelos, especificando cómo se deben extraer para asegurar que la muestra sea representativa y que se minimicen daños al cabello o al cuero cabelludo.

Detalla las herramientas necesarias (pinzas, recipientes estériles) y las técnicas para evitar la contaminación cruzada.

### **Recomendaciones de Manejo:**

- Describe cómo deben ser almacenados y etiquetados los cabellos recolectados, así como las condiciones ideales para su preservación hasta su análisis en el laboratorio.
- Incluye indicaciones sobre cómo preservar la integridad de los cabellos para análisis forenses, como estudios de ADN o toxicológicos.

Referencias a la Orden 8030 JUS/1291/2010: Citar las normas relevantes y cómo se aplican a cada tipo de muestra.

**Propósito del Ejercicio:** Este ejercicio permitirá a los estudiantes aplicar sus conocimientos sobre las prácticas estándar en la recogida y manejo de muestras biológicas, garantizando que puedan seguir

protocolos adecuados para mantener la integridad de las evidencias forenses. Además, fomentará la comprensión de la importancia de cumplir con las normativas establecidas para la preparación y remisión de muestras en investigaciones criminalísticas.

## **Conclusiones**

Las pruebas y análisis de química forense proporcionan una comprensión integral del proceso completo de análisis químico forense, desde la recolección inicial de muestras hasta la interpretación y presentación de resultados. La meticulosa atención a cada etapa, incluyendo la preparación preanalítica y el control de calidad, es vital para garantizar la validez y fiabilidad de los hallazgos forenses.

Al dominar estas etapas, los estudiantes adquieren habilidades técnicas esenciales y comprenden la importancia de la documentación y el manejo adecuado de las muestras para mantener la integridad de la evidencia. Los ejercicios prácticos diseñados refuerzan estos conocimientos y preparan a los estudiantes para enfrentar desafíos reales en el campo de la química forense, subrayando la relevancia de cada paso en el proceso analítico.

### **2.5 Técnicas de análisis de interés químico forense**

En *Química forense* se emplean diversas técnicas analíticas para lograr una identificación precisa de sustancias mediante pruebas confirmatorias, identificar la clase o tipo de sustancias a través de pruebas presuntivas, o comparar muestras utilizando pruebas de cotejo. Además, grupos de trabajo especializados, como el *Grupo técnico-*

*científico para el análisis de incendios y explosiones* y el *Grupo de trabajo para el análisis de drogas incautadas*, categorizan las técnicas de análisis según su capacidad informativa y recomiendan combinaciones específicas de técnicas basadas en esta categorización para fines de identificación (Ristivojević et al., 2025).

En esta lectura mostraremos cómo se categorizan las técnicas analíticas según su capacidad identificativa y separativa.

En el contexto de la química forense, las técnicas analíticas desempeñan un papel protagónico respecto a la identificación y caracterización de sustancias presentes en diferentes tipos de muestras. A continuación, se describen las técnicas analíticas más empleadas según el tipo de muestra analizada en investigaciones forenses, proporcionando una guía sobre qué metodología es más adecuada para cada caso.

## **2.6 Técnicas con alta capacidad identificativa**

Estas técnicas proporcionan una identificación precisa de las sustancias analizadas, siendo capaces de determinar su composición molecular o elemental de manera confiable.

- Espectroscopía infrarroja, IR: Utilizada para identificar grupos funcionales y estructuras moleculares específicas en las sustancias analizadas.
- Espectroscopía raman: Similar a la IR, esta técnica proporciona información detallada sobre las vibraciones moleculares y es

particularmente útil para la identificación de compuestos orgánicos y ciertos inorgánicos.

- Espectrometría de masas, MS: Técnica altamente específica que permite la identificación de compuestos basados en su masa molecular y patrón de fragmentación.
- Espectroscopía de rayos X por dispersión de energía, EDS o EDX: Técnica utilizada para determinar la composición elemental de una muestra, pero con limitaciones en la identificación molecular.

## **2.7 Técnicas separativas con capacidad identificativa intermedia**

Estas técnicas son efectivas en la separación de componentes en mezclas complejas y proporcionan una identificación parcial, que suele complementarse con otras técnicas para lograr una identificación completa.

- Cromatografía de gases, GC: Separación de compuestos volátiles en mezclas, que puede proporcionar información identificativa cuando se combina con técnicas como la espectrometría de masas, GC-MS.
- Cromatografía de líquidos de alta eficacia, HPLC: Similar a la GC, pero para compuestos no volátiles, útil en la separación y análisis de componentes en mezclas complejas.

- Cromatografía en capa fina, TLC: Técnica simple y rápida para la separación preliminar de componentes, pero con baja capacidad identificativa sin técnicas complementarias.
- Cromatografía iónica, IC: Técnica para la separación y análisis de aniones y cationes en muestras complejas, proporcionando una identificación parcial de iones.
- Electroforesis capilar, CE: Técnica separativa que ofrece resolución en la separación de iones y moléculas cargadas, con capacidad identificativa complementaria.

## **2.8 Técnicas con poca capacidad identificativa**

Estas técnicas, aunque útiles en la caracterización preliminar de muestras, tienen una capacidad identificativa limitada y suelen necesitar complementarse con otras técnicas para lograr una identificación precisa.

- Espectroscopía de absorción UV-Vis: Útil para la detección y cuantificación de compuestos basados en su absorbancia, pero con capacidad limitada para la identificación específica de compuestos.

Es importante resaltar que cada técnica tiene su utilidad y limitaciones en el ámbito de la química forense, con lo cual, el químico forense debe tener la capacidad de seleccionar la combinación más adecuada de métodos para lograr una identificación precisa y confiable de sustancias en investigaciones criminales.

Considerando las muestras analizadas, las técnicas analíticas mencionadas anteriormente y sus acoplamientos instrumentales, es necesario incluir las técnicas de microscopía, que son empleadas para el análisis de vestigios y trazas materiales, como fibras y pinturas, entre otros. A continuación, se describe brevemente cada una de ellas, clasificándolas según el tipo de muestras analizadas:

1. **Cromatografía de gases-espectrometría de masas, GC-MS.**

Esta técnica es ampliamente utilizada en el análisis de tóxicos, como drogas en alijos y muestras toxicológicas, tanto post-mortem como en sujetos vivos.

Su capacidad para separar e identificar compuestos volátiles con alta sensibilidad la hace ideal para detectar y cuantificar sustancias controladas en muestras biológicas y en objetos incautados.

Además, la GC-MS se aplica en la investigación de incendios para identificar acelerantes de la combustión, que son compuestos que pueden haber sido utilizados para iniciar o intensificar un fuego.

2. **Cromatografía líquida-espectrometría de masas, LC-MS:**

Similar al GC-MS, pero más adecuada para compuestos menos volátiles y termolábiles, esta técnica se emplea en el análisis detallado de tóxicos, proporcionando información sobre la estructura molecular y la composición de las sustancias.

3. **Raman:** La espectroscopía Raman se utiliza principalmente para

el análisis de explosivos en residuos post-exploración y de disparo. Su capacidad para analizar materiales sin contacto directo y sin

preparación de la muestra la convierte en una herramienta invaluable en escenas de crimen, donde la preservación de la evidencia es requerida.

4. **Espectroscopía infrarroja, IR:** Utilizada para el análisis de vestigios o trazas materiales como fibras, pinturas, vidrios y suelos, la espectroscopía IR permite identificar grupos funcionales específicos en las moléculas, facilitando la comparación con materiales de referencia. Esta técnica es complementaria a otras como la microespectrometría UV-Vis y la espectroscopía Raman.
5. **Microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de energía dispersiva de rayos X, SEM-EDX:** Aplicada en la caracterización de vestigios materiales, esta técnica permite el análisis detallado de la morfología y la composición elemental de pequeñas muestras, como fibras y fragmentos de vidrio. El SEM-EDX es útil para determinar la composición elemental de las muestras, lo que ayuda a asociar vestigios con fuentes específicas.
6. **Cromatografía líquida de alta resolución-espectrometría de masas, HPLC-MS:** Específicamente empleada en el análisis de vestigios y trazas, esta técnica combina la separación eficiente de componentes con la identificación precisa mediante espectrometría de masas, siendo particularmente útil en la identificación de compuestos orgánicos complejos en muestras pequeñas.

7. **Cromatografía iónica**, IC o Electroforesis Capilar, CE: Estas técnicas se emplean para el análisis de vestigios de interés forense, especialmente en la separación y detección de iones presentes en muestras como suelos y otros materiales inorgánicos.
8. **Microscopía óptica**: Esta técnica se utiliza para la observación directa de vestigios materiales como fibras y pinturas. Aunque es menos sofisticada que otras técnicas, la microscopía óptica sigue siendo fundamental en el análisis inicial y la clasificación de las muestras.

## **2.9 Principios generales e instrumentación básica de las técnicas de análisis en química forense**

Este apartado presenta una breve introducción a los principios fundamentales que sustentan las técnicas analíticas mencionadas anteriormente, con un enfoque en la información que estas técnicas proporcionan, con el objetivo de facilitar una interpretación adecuada en el contexto de la química forense.

### **2.10 Técnicas microscópicas**

Las técnicas microscópicas permiten examinar y analizar características de las muestras que no son visibles o no se pueden apreciar claramente a simple vista.

Estas técnicas son ampliamente utilizadas en la investigación de muestras criminalísticas, como fibras y pinturas, debido a su rapidez y carácter no destructivo (Ricca et al., 2021). Por estas razones, son las

preferidas para realizar exámenes macro y microscópicos de vestigios o trazas materiales, especialmente cuando se dispone de una cantidad muy limitada de muestra, en la actualidad, se utilizan microscopios ópticos, microscopios electrónicos y microespectrómetros (Pringle et al., 2022). A continuación, se describen las principales técnicas microscópicas utilizadas en este campo.

### ***2.10.1 Microscopía óptica***

La microscopía óptica es una de las técnicas más comunes y accesibles en los laboratorios forenses. Utiliza luz visible y una serie de lentes para ampliar la imagen de la muestra, permitiendo la observación de detalles estructurales y morfológicos a niveles de hasta 1000 aumentos.

Es especialmente útil en la identificación preliminar de fibras, tejidos biológicos, partículas de polvo, entre otros. La microscopía óptica es una herramienta útil para las pruebas presuntivas y la clasificación inicial de muestras (Vaishnavi et al., 2024).

### ***2.10.2 Lupa binocular***

La lupa binocular es un instrumento óptico que ofrece un aumento moderado, generalmente entre 10x y 50x, y proporciona una imagen tridimensional de la muestra.

Es ideal para la inspección de objetos grandes o irregulares, como fragmentos de vidrio, balas, fibras y otros materiales que requieren una observación detallada de su superficie. La lupa binocular es

ampliamente utilizada en el análisis preliminar de evidencias y en la selección de áreas de interés para estudios más detallados

### ***2.10.3 Microscopio de comparación***

El microscopio de comparación es una herramienta usada en el análisis forense, especialmente en balística y la comparación de huellas dactilares. Este microscopio permite la visualización simultánea de dos muestras diferentes, una al lado de la otra, facilitando la comparación directa de sus características. Es utilizado para comparar proyectiles, casquillos, fibras, y otras evidencias físicas que requieran un análisis detallado de similitudes o diferencias morfológicas.

### ***2.10.4 Microscopio confocal***

El microscopio confocal es una técnica avanzada que utiliza un sistema de escaneo láser para obtener imágenes de alta resolución en tres dimensiones. A diferencia de la microscopía óptica convencional, el microscopio confocal permite la visualización de secciones ópticas a diferentes profundidades dentro de la muestra, lo que resulta en una imagen tridimensional. Esta técnica es particularmente útil en el análisis de superficies complejas y en la obtención de detalles estructurales de materiales biológicos y no biológicos.

### ***2.10.5 Microscopía electrónica de barrido (SEM)***

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es una técnica avanzada que utiliza un haz de electrones en lugar de luz para escanear la superficie de una muestra. El SEM proporciona imágenes de alta

resolución y gran profundidad de campo, lo que permite la observación detallada de la topografía y la composición de la muestra a nivel nanométrico. Es especialmente útil en el análisis de partículas residuales, trazas de explosivos, y la identificación de materiales inorgánicos. Además, el SEM puede estar acoplado a un detector de rayos X de energía dispersiva, EDS, lo que permite realizar un análisis elemental de la muestra simultáneamente.

## **2.11 Técnicas espectrofotométricas en química forense**

Las técnicas espectrofotométricas son fundamentales en la Química Forense debido a su capacidad para analizar la composición química de sustancias y proporcionar información detallada sobre su estructura molecular. A continuación, se describen las principales técnicas espectrofotométricas utilizadas en el análisis forense.

### ***2.11.1 Espectrofotometría UV-Visible***

La espectrofotometría UV-visible se basa en la medición de la absorbancia de luz ultravioleta y visible por una muestra, lo que permite determinar la concentración de compuestos específicos. Esta técnica es ampliamente utilizada en la identificación y cuantificación de sustancias químicas presentes en muestras forenses.

Un ejemplo destacado del uso de la espectrofotometría UV-visible es el estudio realizado por Schwarcz y colaboradores, en el cual se utilizó esta técnica para determinar la concentración de citrato en muestras biológicas (Taus et al., 2021).

El citrato, un metabolito común en el cuerpo humano, tiene un pico de absorbancia característico en la región UV. Mediante la comparación de la absorbancia medida con una curva de calibración, los investigadores pudieron cuantificar con precisión la concentración de citrato en las muestras, lo que es relevante en estudios forenses relacionados con envenenamientos o alteraciones metabólicas (Pragst, 2025).

### ***2.11.2 Espectroscopía infrarroja, IR***

La espectroscopía infrarroja, IR, se basa en la absorción de radiación infrarroja por las moléculas, lo que provoca vibraciones en los enlaces químicos. Cada tipo de enlace químico tiene una frecuencia de vibración característica, lo que permite identificar grupos funcionales y compuestos en una muestra.

En química forense, la espectroscopía IR es especialmente útil para la identificación de sustancias orgánicas como drogas, explosivos y polímeros. Por ejemplo, un espectro infrarrojo de una sustancia desconocida se puede comparar con bases de datos espectrales para identificarla con precisión. Esta técnica es valiosa por su capacidad para analizar muestras en estado sólido, líquido o gaseoso sin necesidad de una preparación extensa.

### ***2.11.3 Espectroscopía raman***

La espectroscopía Raman es una técnica complementaria a la espectroscopía IR, que se basa en la dispersión inelástica de la luz cuando interactúa con las moléculas de una muestra. Este fenómeno

produce un espectro característico que depende de las vibraciones moleculares, lo que permite la identificación de sustancias.

La espectroscopía Raman es especialmente útil en la química forense para analizar muestras que son difíciles de identificar mediante otras técnicas, como pigmentos, fibras, drogas y materiales explosivos. Su capacidad para analizar muestras sin contacto y sin destrucción la convierte en una herramienta valiosa en la investigación de escenas de crimen, donde la preservación de la evidencia es requerida.

#### ***2.11.4 Espectrometría de masas, MS***

La espectrometría de masas es una técnica poderosa que permite la identificación y cuantificación de compuestos químicos mediante la medición de la relación masa-carga ( $m/z$ ) de iones producidos a partir de la muestra. Esta técnica proporciona información detallada sobre la estructura molecular y la composición elemental de las sustancias analizadas.

En el contexto forense, la espectrometría de masas es ampliamente utilizada para la identificación de drogas, toxinas, explosivos y otros compuestos relevantes. Una aplicación común es el acoplamiento de la espectrometría de masas con técnicas de separación, como la cromatografía de gases o la cromatografía líquida, para analizar mezclas complejas y obtener perfiles de sustancias con alta precisión. Además, la espectrometría de masas puede utilizarse en el análisis isotópico para rastrear el origen de una sustancia o identificar patrones de síntesis química.

## **2.12 Técnicas separativas en química forense**

Las técnicas separativas son fundamentales en la Química Forense para la separación, identificación y cuantificación de los componentes individuales en mezclas complejas. Estas técnicas permiten analizar muestras de gran diversidad, desde sustancias ilícitas hasta contaminantes ambientales, y son esenciales para obtener resultados precisos en el laboratorio forense. A continuación, se describen las principales técnicas separativas utilizadas en este campo.

### ***2.12.1 Cromatografía de gases, GC***

La cromatografía de gases, GC, es una técnica ampliamente utilizada en química forense para la separación y análisis de compuestos volátiles y semivolátiles. En GC, la muestra se volatiliza e inyecta en una columna cromatográfica, donde los componentes se separan en función de su afinidad con la fase estacionaria y su volatilidad. A medida que los componentes eluyen de la columna, se detectan y registran, permitiendo su identificación y cuantificación.

La GC es especialmente útil en el análisis de drogas, explosivos, solventes y productos de combustión. Por ejemplo, en la investigación de incendios, la GC se utiliza para identificar acelerantes como gasolina o queroseno, que pueden indicar un incendio provocado. Además, cuando se acopla a un detector de espectrometría de masas, GC-MS, se obtiene una herramienta poderosa para la identificación de sustancias desconocidas mediante la comparación con bases de datos espectrales.

### ***2.12.2 Cromatografía de líquidos***

#### **Cromatografía en capa fina, TLC**

La cromatografía en capa fina, TLC, es una técnica de separación sencilla y rápida que se utiliza en química forense para el análisis cualitativo de mezclas. En TLC, la muestra se aplica como un punto sobre una placa recubierta con una fase estacionaria, típicamente sílice, y se desarrolla en un solvente adecuado. Los componentes de la mezcla se separan en función de su afinidad por la fase estacionaria y su solubilidad en el solvente, lo que resulta en la formación de manchas separadas sobre la placa.

La TLC se emplea en la identificación preliminar de drogas, pesticidas y tintes, entre otros. Es particularmente útil por su simplicidad y bajo costo, aunque su capacidad de resolución es limitada en comparación con otras técnicas cromatográficas.

#### **Cromatografía líquida de alta eficacia, HPLC**

La cromatografía líquida de alta eficacia, HPLC, es una técnica separativa avanzada utilizada para la separación y análisis de compuestos en estado líquido. En HPLC, la muestra se introduce en una columna cromatográfica bajo alta presión, donde los componentes se separan en función de su interacción con la fase estacionaria y su solubilidad en la fase móvil.

La HPLC es altamente versátil y se aplica en el análisis de una amplia gama de compuestos, incluidos medicamentos, toxinas y productos

naturales. Es particularmente valiosa en la química forense para la identificación y cuantificación precisa de drogas en muestras biológicas como sangre y orina, así como en el análisis de residuos de explosivos y contaminantes ambientales.

### ***2.12.3 Cromatografía iónica***

La cromatografía iónica es una técnica especializada para la separación de iones y moléculas polares en una muestra. Utiliza una resina de intercambio iónico como fase estacionaria, donde los iones de la muestra se separan en función de su carga y afinidad con la resina. Esta técnica es ideal para el análisis de aniones y cationes en muestras acuosas.

En química forense, la cromatografía iónica se utiliza en el análisis de residuos inorgánicos, como explosivos, venenos y contaminantes ambientales. Por ejemplo, puede emplearse para detectar nitratos y cloruros en el análisis de muestras de agua o para identificar residuos de explosivos como nitratos y percloratos en escenas de explosiones.

### ***2.12.4 Electroforesis capilar, CE***

La electroforesis capilar, CE, es una técnica de separación que utiliza un campo eléctrico para separar los componentes de una muestra en función de su tamaño y carga. La muestra se introduce en un electrodo capilar y, bajo la influencia del campo eléctrico, los iones se mueven a través del capilar a diferentes velocidades, permitiendo su separación.

La CE es especialmente útil en el análisis de moléculas pequeñas y biomoléculas, como aminoácidos, proteínas, y ADN. En química

forense, la CE se utiliza para la tipificación de ADN en análisis de muestras biológicas, así como en la identificación de drogas y metabolitos en fluidos corporales. Su alta resolución y velocidad hacen de la CE una técnica valiosa para el análisis forense de trazas y mezclas complejas.

## **Resumen**

En la Unidad 2 de *Pruebas y análisis de química forense*, se exploraron las técnicas microscópicas, espectrofotométricas y separativas como herramientas fundamentales en la *Química forense*. Las técnicas microscópicas, como la microscopía óptica, la lupa binocular, el microscopio de comparación, el microscopio confocal y la microscopía electrónica de barrido, permiten el análisis detallado de muestras, revelando características morfológicas y estructurales cruciales en la identificación de evidencias. Las técnicas espectrofotométricas, incluyendo la espectrofotometría UV-visible, la espectroscopía infrarroja, la espectroscopía Raman y la espectrometría de masas, permiten el análisis químico de algunas sustancias, proporcionando información sobre su composición molecular y estructura. Por otro lado, las técnicas separativas, como la cromatografía de gases, la cromatografía líquida (TLC y HPLC), la cromatografía iónica y la electroforesis capilar, son especialmente útiles para la separación e identificación de componentes en mezclas complejas. Estas técnicas permiten a los forenses analizar, identificar y cuantificar sustancias en diversas matrices, asegurando resultados confiables y precisos en investigaciones criminalísticas.

## Conclusiones

Las técnicas microscópicas, espectrofotométricas y separativas son herramientas importantes en la *Química forense*. Estas técnicas permiten a los forenses analizar de forma combinada o independiente, identificar y cuantificar sustancias en diversas matrices, asegurando resultados confiables y precisos en investigaciones criminalísticas.

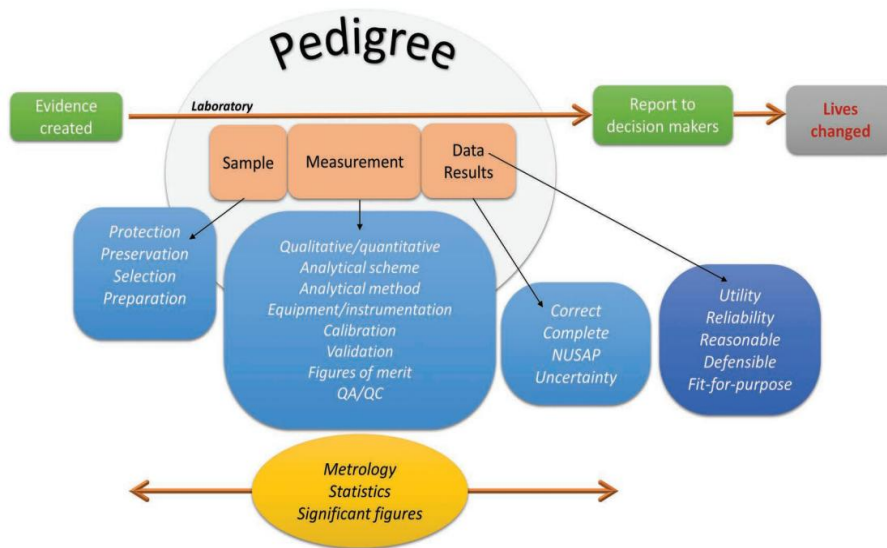
### 2.13 Gestión de la calidad y análisis de datos en química forense

El tratamiento de datos es un elemento determinante en la *Química forense*, ya que asegura la validez y precisión de los resultados de los ensayos del laboratorio. Este proceso implica la recopilación, procesamiento, y análisis de los datos químicos para obtener conclusiones confiables. Los datos deben ser manejados con rigor científico, siguiendo protocolos establecidos para evitar errores y sesgos, y asegurando que los resultados sean reproducibles y verificables (Sharma et al., 2025).

La química analítica, que es de lo que trata la química forense, implica la medición (Ferrero & Scotti, 2022). Un químico forense genera datos, y esos datos tienen implicaciones. Estas estadísticas se utilizan para tomar decisiones que afectan vidas y a la sociedad. El trabajo de un químico analítico forense es hacer las mejores mediciones posibles (Bebeshko et al., 2024). Dicho esto, aquí es donde comenzará nuestra aventura en la química forense.

¿Cómo puedes estar seguro de que la calidad de tus datos es óptima?  
¿Cómo te aseguras de que toda la información necesaria para reportar y

comprender tus datos esté incluida? Implementando los principios fundamentales de la ciencia de la medición. La Figura 1 muestra un esquema de esta lectura.



**Figura 1.** Resumen de las actividades y procesos que se llevan a cabo en el laboratorio. Los tres temas principales son: estadística, metrología y garantía de la calidad de los datos.

*Fuente:* (Bell, 2022).

Un rastro documental, ya sea en formato físico o digital, debe iniciarse tan pronto como se recibe la evidencia, garantizando su resguardo a través de una cadena de custodia clara y sin ambigüedades. Esto implica que cada transferencia de la evidencia se registre y se identifique a la persona responsable de su manejo.

En este sentido, se entiende la necesidad de utilizar submuestras en casos de grandes incautaciones. Adicionalmente, se debe detallar la

preparación de la muestra y las técnicas analíticas empleadas, con un enfoque en los pasos críticos de estos procesos, como la selección y validación de métodos analíticos, la determinación de los parámetros y la efectividad de los métodos (figuras de mérito), así como la garantía de que los métodos funcionen según lo previsto (aseguramiento y control de calidad). La interpretación, elaboración de informes y evaluación de los resultados están integradas en los análisis químicos.

La organización que proporcionó la evidencia requiere información precisa, comprensible y completa. Su provisión requiere más que solo valores y resultados. El contexto y la suficiente información son cruciales, y esto abarca mucho más que un simple número. Utilizaremos el mecanismo NUSAP para abordar esto.

El método NUSAP es una herramienta utilizada en la evaluación de la incertidumbre en la ciencia y en la comunicación de información científica compleja. El acrónimo NUSAP significa Numeral, Unidad, Spread, Assessment, Pedigree, y cada componente desempeña un papel en la descripción y evaluación de los datos.

1. **Numeral, N:** Es el valor numérico que representa la evidencia o el dato. Por ejemplo, la concentración de una sustancia en una muestra.
2. **Unidad, U:** La unidad en la que se expresa el numeral, como miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm).

3. **Spread, S:** Indica la dispersión o el rango de incertidumbre del numeral. Esto podría ser un intervalo de confianza o un margen de error que muestra la variabilidad en los datos.
4. **Assessment, A:** Representa una evaluación cualitativa de la calidad o confiabilidad del dato. Puede incluir aspectos como la reproducibilidad o la precisión del método utilizado.
5. **Pedigree, P:** Es una evaluación del origen, confiabilidad y robustez del dato, que incluye el proceso de cómo se generó, recopiló y verificó la información.

En el contexto de la química forense, el uso del mecanismo NUSAP significa que se debe comunicar los valores numéricos de la evidencia (Numeral), incluir las unidades correspondientes (Unidad), explicar el intervalo de incertidumbre asociado (Spread), evaluar la calidad del dato (Assessment) y se debe proporcionar información sobre la fuente y confiabilidad del dato (Pedigree).

#### **2.14 Trazabilidad y exactitud**

La trazabilidad y la exactitud son pilares en la calidad de los análisis forenses. La trazabilidad garantiza que cada resultado puede ser rastreado hasta su origen, desde la toma de la muestra hasta el análisis final. Esto es importante para garantizar la transparencia y la fiabilidad de los resultados. La exactitud, por su parte, se refiere a la proximidad de los resultados a un valor verdadero o aceptado como tal, lo cual es crítico en la interpretación de las evidencias.

### **2.15 Incertidumbre y variabilidad**

La incertidumbre y la variabilidad son factores inherentes a cualquier proceso analítico. La incertidumbre se refiere a la duda cuantificada sobre la precisión de los resultados, y es usada para evaluar la confiabilidad de las conclusiones forenses. La variabilidad, tanto intrínseca como extrínseca, afecta los resultados y debe ser controlada para minimizar su impacto. La comprensión y el manejo adecuado de estos factores son básicos para interpretar correctamente los datos forenses.

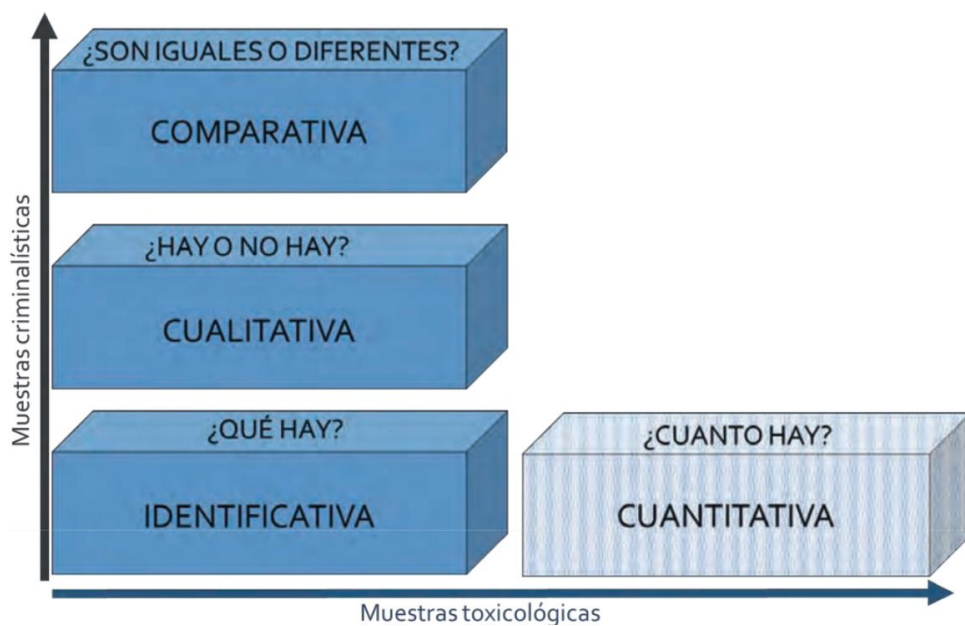
### **2.16 Introducción a la quimiometría**

La quimiometría es la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos para diseñar experimentos, analizar datos químicos y optimizar los procedimientos analíticos. En química forense, la quimiometría ayuda a interpretar grandes conjuntos de datos complejos, facilitando la identificación de patrones y la extracción de información significativa. Esta disciplina permite mejorar la precisión y la eficiencia de los análisis forenses, contribuyendo a resultados más robustos y confiables.

### **2.17 Información químico forense**

Después de la fase analítica, es necesario extraer información de la muestra analizada a partir de los datos o resultados de los ensayos. Esta información puede ser cuantitativa, cualitativa, identificativa o comparativa. Como se muestra en la figura 2, en la Química Forense, la información comparativa, cotejo, es de gran utilidad para las muestras

criminalísticas, mientras que la información identificativa y cuantitativa adquiere especial relevancia en el análisis de muestras toxicológicas.



**Figura 2. Resumen de estrategias para extracción de información según el requerimiento.**

**Fuente:** (bell, 2022).

La información cualitativa ayuda a determinar la presencia o ausencia de una sustancia en una muestra y es de gran utilidad para identificar la posible droga contenida en ella. Por ejemplo, se utilizan pruebas colorimétricas que emplean diversos reactivos químicos, como los reactivos Marquis y Simon, para inferir la presencia de estimulantes similares a la anfetamina.

Por otro lado, la información identificativa permite determinar la especie, compuesto o elemento presente en una muestra. Este tipo de

información se obtiene mediante técnicas espectrométricas como la espectroscopía IR, Raman, EDX y la espectrometría de masas. Es empleada en las metodologías de cribado para identificar sustancias controladas y sus metabolitos en muestras toxicológicas, así como en el análisis de muestras relacionadas con incendios o explosivos.

Adicionalmente, la información cuantitativa se obtiene mediante métodos de “cuantificación”, siendo el método del patrón interno uno de los más utilizados, para medir el contenido, concentración o cantidad de una especie, compuesto o elemento en una muestra. En química forense, esta información se aplica principalmente a las muestras toxicológicas. Para garantizar una cuantificación precisa, es importante comprender y aplicar conceptos como exactitud, error y precisión, así como considerar la incertidumbre en los datos obtenidos y en las metodologías de análisis empleadas.

Finalmente, La información comparativa es la resultante del cotejo forense, donde se compara la información de una muestra desconocida (dubitada) con información de entornos diferentes: (i) una muestra conocida (indubitada) o (ii) muestras almacenadas en una base de datos. Esta comparativa se hace con el fin de saber si las dos muestras comparadas son iguales o diferentes. Esta información es usada en el análisis de vestigios/ trazas materiales como son las fibras, pinturas, vidrios y suelos, entre otras muestras materiales encontradas en la escena del crimen y que puedan dar información de lo ocurrido. En este caso, se recomienda hacer uso de la quimiometría para saber si las

diferencias o similitudes son estadísticamente significativas dentro de un grado de confianza establecido previamente.

## **Resumen**

El tratamiento de datos químico-forense implica la correcta gestión y análisis de la información obtenida, asegurando la integridad y validez de los resultados. La trazabilidad y exactitud son determinantes para garantizar que los resultados sean fiables y reproducibles, permitiendo rastrear cada etapa del análisis y minimizar los errores.

La incertidumbre y la variabilidad, por su parte, deben ser consideradas y gestionadas para comprender las posibles desviaciones en los resultados, asegurando la precisión de las conclusiones.

Finalmente, la quimiometría introduce herramientas estadísticas y matemáticas que facilitan la interpretación de datos complejos, optimizando la precisión y eficiencia en el análisis químico-forense.

## **Conclusiones**

El manejo adecuado de los datos en la química forense es vital para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados. La trazabilidad y exactitud en cada etapa del análisis, junto con la gestión de la incertidumbre y la variabilidad, son de especial cuidado para minimizar errores y asegurar que las conclusiones sean precisas y reproducibles. La quimiometría, al proporcionar herramientas avanzadas de análisis, desempeña un papel clave en la optimización del tratamiento de datos,

permitiendo interpretaciones más robustas y fundamentadas en el contexto forense.

## **Proceso evaluativo**

### **Actividad de inicio:**

- Socializar el video que se encuentra en la guía metodológica, mismo que permitirá dar un panorama integrador de los contenidos de la unidad.
- Los estudiantes hacen una lectura previa de los contenidos expuestos de la unidad de la guía.

### **Actividad de desarrollo:**

- A través de la técnica de lluvia de ideas aclarar conceptos sobre Pruebas y análisis de química forense; Etapas del análisis químico forense; Recolección y remisión de muestras objeto de análisis químico forense; Fase preanalítica; Técnicas de análisis de interés químico forense; Técnicas microscópicas; Técnicas espectrométricas; Técnicas separativas; Tratamiento de datos químico forense; Trazabilidad y exactitud; Incertidumbre y variabilidad; Introducción a la quimiometría; Forma de localizar, recoger y transportar las evidencias biológicas; La sangre en criminología; Análisis forense de la sangre; El semen en criminología; Análisis forense del semen; Otros fluidos corporales; Pruebas químicas y análisis de ADN en evidencias biológicas

Empleando la técnica del debate, los estudiantes desarrollarán pensamiento crítico, que ayudará al desarrollo de la actividad 2.

**Actividad de cierre:**

- Utiliza el pensamiento crítico para desarrollar las actividades propuestas.
- Al finalizar la unidad 2, los estudiantes rendirán una prueba de los conocimientos adquiridos.

**Evaluación de los aprendizajes:**

- Lectura crítica.
- Conclusiones del debate.
- Prueba. Cuestionario EVEA.

## CAPÍTULO III

### 3 QUÍMICA FORENSE TOXICOLÓGICA

**Resultado de aprendizaje:** Al completar esta unidad, los estudiantes podrán identificar y analizar sustancias tóxicas, drogas y venenos en diversas muestras biológicas, interpretando los resultados toxicológicos para determinar su relevancia en la investigación criminal.

#### **Introducción:**

La toxicología forense es una disciplina dentro de la química forense que se enfoca en el estudio de sustancias que alteran el equilibrio natural de los organismos. Estas sustancias incluyen drogas, venenos y productos químicos que pueden estar presentes en un escenario delictivo (De Campos et al., 2022).

En esta unidad, nos adentraremos en el análisis de sustancias psicoactivas, que comprenden desde drogas ilegales hasta medicamentos controlados, evaluando cómo estas son detectadas y cuantificadas en el cuerpo humano durante investigaciones criminales y pruebas de dopaje.

Un aspecto crítico de la toxicología forense es la identificación y el estudio de venenos, donde el conocimiento químico resulta de utilidad para detectar sustancias tóxicas en cadáveres o en personas vivas. Exploraremos los diferentes tipos de venenos, tanto de origen orgánico como inorgánico, y su efecto en los sistemas biológicos, así como las

técnicas utilizadas para detectarlos y rastrear su origen en escenarios de envenenamiento.

Otro componente de esta unidad es la investigación forense de incendios, explosivos y explosiones. Aquí, la química juega un papel determinante en la determinación de las causas de incendios provocados, la identificación de explosivos y los mecanismos detrás de las detonaciones. Veremos cómo se analizan los residuos de explosivos y combustibles en la escena de un crimen y cómo las evidencias recolectadas pueden proporcionar pistas para resolver estos casos.

Asimismo, el análisis de residuos de disparos es una técnica instrumental en la criminalística, ya que los residuos generados por armas de fuego pueden ayudar a identificar al tirador o relacionar armas con escenas del crimen (Serol et al., 2023). Además, profundizaremos en el análisis forense de fibras y pinturas, elementos que con frecuencia aparecen en la investigación de homicidios y accidentes de tráfico. Estas micro evidencias pueden conectar personas, vehículos y objetos, y su estudio detallado nos permite reconstruir los eventos.

Finalmente, abordaremos el análisis forense de vidrios y suelos, así como los aspectos químicos relacionados con la autenticación y verificación de documentos cuestionados. La capacidad de identificar fragmentos de vidrio y suelos en una escena, o verificar la autenticidad de un documento a través de su composición química, es importante para la resolución de casos criminales.

### **3.1 Sustancias psicoactivas**

Las sustancias psicoactivas son compuestos químicos que, al ingresar al cuerpo humano, alteran el funcionamiento normal del sistema nervioso central, afectando el comportamiento, el estado de ánimo y las percepciones. Un tóxico es cualquier sustancia que pueda producir algún efecto nocivo en el equilibrio natural de los organismos o seres vivos. Si los efectos producidos llevan a graves alteraciones funcionales e incluso a la muerte, entonces se considera que es un veneno (Giorgetti et al., 2021).

Estas sustancias incluyen drogas ilegales como el cannabis, la cocaína y las anfetaminas, así como medicamentos controlados que pueden ser abusados, como los opioides y los sedantes. En el ámbito de la toxicología forense, la detección y análisis de estas sustancias son importantes para investigaciones criminales relacionadas con intoxicaciones, accidentes de tráfico, homicidios o delitos relacionados con el tráfico de drogas.

La identificación de estas sustancias en muestras biológicas, como sangre, orina, cabello y tejidos, requiere técnicas analíticas precisas y confiables. Las herramientas más comunes utilizadas en toxicología forense incluyen la cromatografía y la espectrometría de masas, que permiten no solo detectar la presencia de estas sustancias, sino también cuantificar las concentraciones exactas en el organismo. Esta información es de gran utilidad para determinar el nivel de intoxicación, la posible causa de muerte o el estado bajo los efectos de sustancias durante la comisión de un delito.

Por otro lado, su impacto en la salud y el comportamiento, el uso indebido de sustancias psicoactivas puede tener repercusiones legales y sociales. Los peritos forenses tienen la responsabilidad de interpretar los resultados analíticos en el contexto de la situación criminal, considerando factores como el tiempo de consumo, la interacción con otras drogas y los efectos en el juicio y el comportamiento del individuo. En casos de dopaje, por ejemplo, el análisis forense busca detectar el uso de sustancias prohibidas que puedan mejorar el rendimiento físico de atletas de manera injusta.

En investigaciones criminales, el análisis de sustancias psicoactivas también puede proporcionar pistas sobre la cadena de suministro de drogas, la relación entre un sospechoso y la víctima, o incluso la intencionalidad de un crimen, como en los casos de homicidios por envenenamiento. En escenarios donde se encuentran drogas o medicamentos no recetados, la toxicología forense ayuda a determinar si la sobredosis fue accidental, intencional o inducida por un tercero.

De forma general y simple, los distintos tóxicos incluidos en esta agencia los podemos clasificar químicamente en:

**Tóxicos inorgánicos:** metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo, mercurio y zinc, entre otros), Cianuro y amianto, entre otros.

**Tóxicos orgánicos:** Benzidinas y aminas aromáticas (atrazina, bencidina, piridina, etc.); Dioxinas, Furanos y Bifenilos policlorados (dibenzo-p-dioxinas cloradas, benzofuranos clorados, bifenilos poli-bromados, etc.); Pesticidas halogenados y compuestos relacionados

(diethyl-meta-toluamide); Hidrocarburos (benceno, etilbenceno, gasolina, keroseno, naftaleno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, tolueno, xilenos, etc.); Nitrosaminas/éteres/alcoholes (éter de clorometilo, clorofenoles, acetato vinílico, etc.); Organofosfatos y carbamatos (Diazinon, Etion, Gution, etc.); Plaguicidas (Aldrin, Atrazina, DDT, etc.); Fenoles y fenoxiácidos (clorofenol, nitrofenol, fenol, etc.); Ftalatos (ftalato dietílico, etc.); Radionucleidos (Cesio, Cobalto, Yodo, Plutonio, Radio, Radón, Estroncio, Torio y Uranio); Compuestos orgánicos volátiles (acetona, tetracloruro de carbono, cloroformo, etc.) y agentes de guerra química (sarín, tabun, somán, etc.).

### **3.2 Dosis tóxica y dosis letal**

La toxicidad es la capacidad de un determinado producto de causar efectos perjudiciales sobre un ser vivo. De aquí proviene también el término toxina, una sustancia venenosa producida por células vivas de organismos, ya sean animales o plantas. Por ello, no se considerarían como toxinas las sustancias nocivas para la salud originadas en procesos artificiales (Li et al., 2024).

La dosis es muy importante en los fármacos que pudiendo ser beneficiosos para el organismo, a partir de lo que se conoce como dosis toxica causarían graves trastornos (por ejemplo, los barbitúricos, comúnmente empleados en casos de suicidio). Podemos entonces distinguir entre:

- Dosis terapéutica (Dt): cantidad mínima de sustancia que careciendo de efectos tóxicos presenta una acción favorable.

- Dosis tóxica (DT): cantidad de sustancia capaz de manifestar un efecto tóxico.
- Dosis tóxica mínima (DTm): cantidad más baja de sustancia capaz de manifestar un efecto tóxico.
- Dosis letal (DL): cantidad de sustancia que resulta mortal al ser administrada.
- Dosis letal mínima (DLm; DL01): cantidad mínima de sustancia que resulta mortal al ser administrada.
- Dosis letal media (DLSO): cantidad de sustancia que mata al 50% de la población a la que se suministra.

Actualmente no habría diferencia entre tóxico y veneno, siendo «tóxico» el término preferente, digamos que el más ortodoxo desde el punto de vista científico, que englobaría así a los venenos clásicos y también a todas aquellas otras sustancias que pueden resultar perjudiciales en función de la dosis. Pero en este tema utilizaremos casi siempre la palabra «veneno», ya que está dedicado al estudio de los tóxicos empleados con intención criminal.

No obstante, conviene clarificar los siguientes conceptos:

- Tóxico: todo agente químico que ingresado en el organismo altera elementos bioquímicos fundamentales para la vida. El tóxico, pues, produce un efecto biológico, con lo que se establece así un

nexo entre la Toxicología y la Bioquímica a través de los mecanismos de acción tóxica y en lesión bioquímica.

- Toxicidad: Capacidad inherente a una sustancia para producir efectos perjudiciales el organismo.
- Intoxicación: Conjunto de trastornos que derivan de la presencia en el organismo de un tóxico o veneno.

### **3.3 Toxicología forense**

La ciencia que estudia los tóxicos se llama Toxicología, según indica su propia etimología. Se define como la ciencia que investiga la toxicidad de sustancias y productos químicos sobre los organismos vivos, así como los mecanismos de acción, el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de las intoxicaciones (Pragst, 2025).

El médico Mateu Orfila, considerado como el iniciador de la toxicología, comenzó a analizar los efectos de los tóxicos en los seres vivos, para lo cual en sus experimentos empleaba perros, envenenándolos con distintos agentes para determinar los daños que les producían. La toxicología se divide en dos grandes áreas: *Toxicología básica o fundamental* y *Toxicología aplicada*. Esta última se llama así porque aplica los principios y conocimientos generales de la primera, junto con los de otras disciplinas, a campos concretos de estudio, por lo que tiene una serie de ramas o especialidades: Médica, Veterinaria, Alimentaria, Ambiental, Experimental y Analítica.

Según la Sociedad de Toxicología Forense (SOFT), la toxicología forense incluye:

- **La toxicología post mortem**, que investiga la ausencia o presencia de tóxicos (drogas, medicamentos u otros tóxicos inorgánicos/orgánicos) en fluidos y tejidos humanos evaluando su papel determinante o contribuyente a la causa y etiología de la muerte.
- **La toxicología conductual**, que tiene como objetivo la investigación del alcohol y de las drogas en relación con los efectos que ocasionan en el comportamiento y en el desarrollo de tareas, en el marco de las consecuencias medicolegales derivadas de su uso (p. ej. en la conducción de vehículos o comisión de delitos contra la libertad sexual).
- **El control de dopaje**: su objetivo es la detección de drogas en competidores deportistas (humanos y animales) con la finalidad de proteger su salud y bienestar, mantener el nivel de la competición y evitar el fraude. El Comité Olímpico Internacional (COI), la Agencia Mundial Antidopaje (WADA) y la Federación Internacional de Autoridades en Carreras de Caballos (IFHA), revisan y actualizan anualmente las listas de sustancias prohibidas.
- **La investigación de drogas en el ámbito laboral**: su finalidad es detectar la presencia de drogas en los empleados de ciertos sectores laborales (p. ej. los militares, los cuerpos policiales y los conductores de transportes públicos).

En resumen, la toxicología forense es una disciplina dinámica y multidisciplinar que requiere conocimientos de química, biología, medicina y farmacología. Para entender los resultados, es fundamental disponer de conocimientos en técnicas analíticas, que permitan el cribado y la cuantificación, y de farmacocinética y farmacodinámica de las drogas, para poder proceder con su interpretación.

### **3.4 Venenos en toxicología forense**

El estudio de los venenos es un área sumamente amplia y diversa, dada la gran variedad de ellos en cuanto a su origen, daños causados, grado de toxicidad, componentes de estos, naturaleza química, estado físico... Ello da lugar a que el hacer una clasificación completa de los mismos sea una tarea sumamente compleja. Una forma tradicional de clasificarlos se basa en el primero de esos criterios, es decir, en su procedencia u origen:

- Vegetal: cicuta, estricnina, ciertos hongos.
- Animal: serpientes, arañas, escorpiones.
- Mineral: arsénico, mercurio, talio, monóxido de carbono.
- Artificial: sustancias sintetizadas en el laboratorio (como los barbitúricos), o productos industriales (como insecticidas, pesticidas, anticongelantes . . .).

Muchos venenos, aunque se ingieran en pequeñas dosis no se eliminan, sino que se acumulan en el organismo y producen importantes efectos

tóxicos irreversibles. Además, siempre hay que tener presente la idea de la dosis, ya que muchos de estos venenos a dosis pequeñas se pueden emplear en medicina, hecho frecuente en muchas plantas medicinales. Así, muchos de origen vegetal como la nicotina, colchicina, digitalina, estrocnina o curare son sustancias tóxicas que también se emplean con fines terapéuticos, pero a ciertas dosis ya son mortales. En el grupo de productos industriales se incluirían también los cáusticos e irritantes, como son ácidos y álcalis fuertes (ácidos clorhídrico, nítrico, sulfúrico, hidróxido sódico, etc.).

### **3.5 Investigación de incendios**

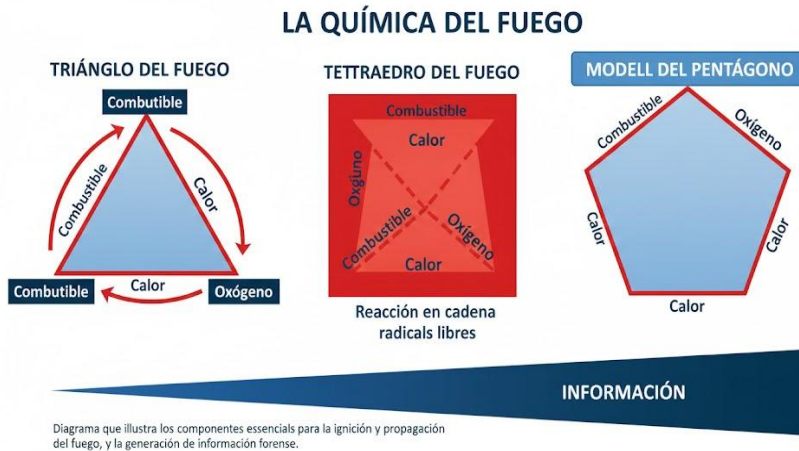
Un incendio se produce cuando un fuego no controlado llega a destruir algo que no estaba destinado a quemarse.

La investigación de un incendio es tremendamente compleja y supone diversos y variados retos analíticos por la devastación que suele producirse (Low et al., 2023).

Por eso, comenzaremos describiendo brevemente conceptos generales como qué es un fuego y una reacción de combustión, los fenómenos de transferencia de calor y masa, qué es la pirolisis y la variedad de productos de combustión que se pueden generar dependiendo de lo que se incendie. El fuego es el resultado de una reacción química llamada combustión.

La química del fuego suele representarse en forma de triángulo del fuego, tetraedro del fuego o pentágono del fuego, para recordar los distintos elementos implicados en las reacciones de combustión que los

originan y que son: el combustible, el oxígeno, el calor, la fuente de ignición y la reacción en cadena que la mantiene, Figura 3.



*Figura 3. La química del fuego.*

### **3.5.1 Combustión: con llama y sin llama**

En una reacción de combustión se produce la interacción entre un combustible, como propano o butano, y un oxidante, generalmente el oxígeno del aire, para producir dióxido de carbono, vapor de agua y calor. En cierto punto de la reacción de combustión, llamado punto de ignición, se producen llamas. Estas llamas se producen por la reacción entre la mezcla de gases calientes. Además, si la llama está suficientemente caliente, los gases se ionizan y se convierten en otro estado de materia denominado plasma (p. ej. en la combustión del magnesio).

El mecanismo de una reacción de combustión es complejo porque, generalmente, se forman radicales libres cuyo mecanismo de reacción consta de:

- Un proceso de iniciación en la cual se forman los primeros radicales libres.
- Reacciones de propagación donde se producen reacciones donde intervienen radicales para producir más radicales (reacción en cadena) y;
- Combinación de dos radicales libres para terminar con la formación de especies neutras.

Cuando se inicia una reacción de combustión, se produce calor que permite transformar la mayoría de los combustibles sólidos (papel, madera, cera, etc.) en vapores o en productos de descomposición que se vaporizan fácilmente (pirolisis). Por ello, la combustión con llamas puede darse a partir de gases, líquidos o sólidos. Sin embargo, hay sólidos como el carbón o el acero que no experimentan una combustión con llamas.

### **3.6 Explosivos y explosiones**

Un explosivo es una sustancia capaz de producir una explosión, lo que significa que es capaz de producir un gran volumen de gas en expansión en un período de tiempo extremadamente corto. Sin embargo, un explosivo químico es cualquier sustancia capaz de producir una explosión mediante su propia energía química. En la explosión, esa

energía química se libera rápidamente causando una onda de choque expansiva de golpe (Jiang et al., 2024).

La velocidad a la que el frente de la onda de choque viaja a través del explosivo detonante se llama velocidad de detonación. Cuando la velocidad de la detonación es más rápida que la velocidad del sonido, se produce una detonación independientemente de si el explosivo está confinado o no. Por el contrario, una deflagración ocurre cuando la velocidad de la detonación es menor que la velocidad del sonido, siendo necesario el confinamiento del explosivo para producir finalmente una explosión.

Cuando las combustiones se producen en un recinto cerrado (espacio confinado) puede ocurrir una deflagración (llama) y después una detonación (explosión) como ocurría en los incendios con explosión de humo. Sin embargo, es conveniente tener en cuenta que los explosivos químicos no necesitan aire para explosionar ya que en su composición disponen del combustible y del oxidante.

De las reacciones químicas ultrarrápidas que pueden causar una explosión, la mayoría se agrupan, en reacciones de descomposición unimoleculares y reacciones multimoleculares redox (óxido-reducción). Como requisito principal, las explosiones tienen que producirse lo suficientemente rápidas para generar una onda de choque expansiva, ya sea porque la velocidad de reacción es supersónica, o porque la generación o acumulación de productos gaseosos a partir de una deflagración subsónica se acelera al estar confinados en un recipiente.

En las reacciones de descomposición unimoleculares interviene un compuesto individual, mientras que son necesarios al menos dos compuestos para que se produzcan reacciones redox multimoleculares. Como ejemplos, la descomposición de la pentrita (PETN,  $C_5H_8N_4O_{12}$ ) y la reacción redox de la pólvora negra la cual se forma con una mezcla de nitrato potásico,  $KNO_3$ , como oxidante y de carbono, C, y azufre, S, como combustibles, teniendo el azufre sólido un bajo punto de inflamación que facilita el inicio de la reacción redox.

### ***3.6.1 Clasificación de los explosivos***

Existen diferentes criterios para clasificar los explosivos. Una de las clasificaciones más citada en la bibliografía es la basada en la velocidad de detonación, que es la que se emplea tradicionalmente en el campo militar. En el campo forense, sin embargo, lo habitual es hacer referencia a la clasificación de explosivos en función de su uso/aplicación, Tabla 2.

***Tabla 2. Clasificación forense de los explosivos.***

<b>Área de Estudio</b>	<b>Concepto Clave</b>	<b>Aplicación Forense</b>
Microscopía	Examen no destructivo	Análisis de fibras, pinturas y trazas con cantidad limitada de muestra.

<b>Área de Estudio</b>	<b>Concepto Clave</b>	<b>Aplicación Forense</b>
Microscopía Óptica	Identificación morfológica	Clasificación inicial de tejidos biológicos y partículas de polvo (hasta 1000 aumentos).
Espectrofotometría UV-Vis	Cuantificación por absorbancia	Determinación de concentraciones de metabolitos como el citrato en casos de envenenamiento.
Tratamiento de Datos	Rigor estadístico y validez	Asegurar resultados reproducibles y precisos para toma de decisiones judiciales.
Toxicología Forense	Sustancias psicoactivas	Detección y cuantificación de drogas y medicamentos en investigaciones criminales.
Toxinas vs. Venenos	Origen de la sustancia	Diferenciación entre compuestos producidos por células vivas (toxinas) y procesos artificiales.
Investigación de Incendios	Química de la combustión	Estudio de pirólisis y transferencia de calor para determinar el origen del fuego.

Área de Estudio	Concepto Clave	Aplicación Forense
Explosivos Químicos	Onda de choque expansiva	Liberación rápida de energía química y generación de gases en tiempos extremadamente cortos.
Residuos de Disparo	Análisis de trazas metálicas	Identificación del tirador y vinculación de armas con la escena del crimen.

Atendiendo a la velocidad de detonación se diferencian los explosivos de alta energía (los que crean una onda de choque que generalmente es confinada para generar una explosión).

Los explosivos de alta energía se agrupan en explosivos primarios (muy sensibles a pequeños estímulos para iniciar su detonación, como el fulminato de mercurio, el fulminato de plata, la azida de plomo, el acetiluro de cobre, el picrato de plomo, el estifnato de plomo, el diazodinitrofenol, los tetrazoles, la NG, el TATP y el HMTD), en explosivos secundarios (prácticamente insensibles a estímulos débiles para detonar y de gran potencia, como el RDX, la PETN, el octógeno o HMX, el TNT, el 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenceno (TATB), la tetralita, el ácido pícrico, el CL- 20 y la nitrocelulosa) y en explosivos terciarios (explosivos insensibles de uso comercial, como el ANFO, el ANAI y composiciones de dinamita). Los explosivos de baja energía

incluyen a las pólvoras como la pólvora sin humo, la pólvora negra o la pólvora flash.

**Nota:** Investigue: ¿cómo funcionan los airbags de los vehículos de uso comercial?

### **3.7 Análisis forense de residuos de disparos**

Existen distintas armas de fuego que pueden agruparse en arma corta o pistola, arma larga o rifle, o arma de caza o escopeta. La munición que emplea cada tipo de arma es distinta en función de su uso.

Por otro lado, las armas de caza lo que se suele propulsar son perdigones, en las armas cortas y largas se propulsa una bala. Para impulsar el componente que hace el daño, se emplean explosivos propulsores. Por eso, antes de explicar lo que son los residuos de disparo, es de gran relevancia conocer las composiciones típicas que se han empleado para iniciar y propulsar la munición. La figura siguiente muestra, como ejemplo, un proyectil de un arma larga donde se diferencian sus componentes y su composición química básica.

Las balas se hacen comúnmente con plomo, generalmente una aleación con diferentes cantidades de antimonio, y se pueden recubrir con una capa delgada de un material mucho más duro, incluyendo una aleación de cobre/zinc, una aleación de cobre/níquel o acero (aleación de hierro y carbono). La parte metálica de la vaina suele ser de latón (aleación de cobre y zinc) aunque también puede ser de acero o aluminio.

La vaina contiene dos cargas explosivas: el iniciador, que está contenido en una pequeña cavidad, y el propulsor, que ocupa la mayor parte del interior de la vaina.

En un crimen con armas de fuego, los residuos de disparo pueden transferirse al tirador, al arma, a la víctima o al entorno circundante, se indica en la siguiente figura. Por esta razón, la capacidad de identificar de forma inequívoca los residuos de disparo es una parte muy importante y crucial de la investigación de la escena del crimen y puede proporcionar información valiosa para, por ejemplo, identificar la presencia de estos residuos, averiguar el orificio de entrada de la bala o estimar la distancia de disparo (Abedi et al., 2021).

Esta información es muy útil para indicar si una persona pudo ser la ejecutora del disparo o al menos estuvo en el entorno cercano cuando se disparó, e incluso apoyar la hipótesis de lo ocurrido cuando se investiga si una muerte se debe a un suicidio o a un homicidio

Los GSR pueden recogerse empleando un dispositivo para microscopía electrónica con cinta adhesiva, aspirándolos mediante vacío, atrapándolos mediante frotado de la superficie de interés con un hisopo de algodón, entre otros posibles métodos. Pero entre todos ellos, son los dispositivos de microscopía electrónica con adhesivo los que recomienda la guía ASTM E1588-174 para el análisis estándar de los GSR mediante microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (SEM-EDX).

Las muestras pueden recogerse de las manos del tirador, del entorno del disparo (p. ej. ropa o pelo del sospechoso), de la bala, de la diana sobre la que se ha disparado, de las superficies cercanas al punto de descarga o incluso de la propia arma si esta está disponible. A continuación, se muestran algunas opciones de recolección de GSR, Tabla 3.

*Tabla 3. Métodos de Recolección de Residuos de Disparo (GSR).*

<b>Método de Recolección</b>	<b>Herramienta / Técnica</b>	<b>Observaciones</b>
Cinta Adhesiva	SEM Stubs (Discos adhesivos)	Método preferido; preserva la morfología de la partícula.
Vacío	Aspiración mecánica	Útil para superficies grandes o textiles rugosos.
Frotado	Hisopos o aplicadores	Común para análisis químicos colorimétricos.
Otras	Técnicas alternativas	Según protocolos específicos del laboratorio.

El muestreo es importante para poder identificar GSR. Por lo tanto, cuando se han tomado muestras de las manos de un sospechoso, y no se detectan GSR en sus manos, incluso siendo el autor del disparo, puede deberse a que la recolección de muestras se realizara con mucho retraso

respecto al disparo y las partículas se hayan perdido, pero también podría ser que el sospechoso se haya lavado las manos después del tiroteo o que el arma o munición utilizada en el incidente donde se disparó no deposite cantidades significativas de residuos detectables (Serol et al., 2023).

En este último caso, puede ser útil investigar los GSR obtenidos de muestras colectadas mediante el mismo tipo de arma y munición. Durante el muestreo también es necesario evitar contaminación con otras posibles partículas GSR, por eso los dispositivos de muestreo no deben exponerse a las zonas donde están las armas de fuego.

El análisis de GSR por SEM-EDX está aceptado a nivel mundial y es el que se recomienda a los laboratorios forenses. Además de la ASTM, también lo recomienda la guía del Grupo de Trabajo Científico para Residuos de Disparo (abreviado como SWGGSR por su denominación en inglés de Scientific Working Group for Gunshot Residue). SEM-EDX es la técnica de elección para el análisis de GSR inorgánicos, que son los que provienen de la reacción explosiva del iniciador, el material de la bala, la vaina y el propio erosionado del interior del arma por estos componentes.

Para la identificación inequívoca de GSR se procede a identificar partículas características y partículas consistentes. Las partículas características son aquellas que tienen una morfología característica y tienen composiciones raramente encontradas en partículas de cualquier otra fuente. Las partículas consistentes tienen composiciones que también se encuentran en partículas de una serie de fuentes

relativamente comunes que no son armas de fuego. La presencia de múltiples partículas características, así como de otras partículas consistentes con GSR es generalmente suficiente para proporcionar una identificación inequívoca de estas partículas como GSR.

A continuación, se muestra las características de las partículas de GSR según su composición química elemental, su morfología y su tamaño cuando se generan a partir de munición convencional conteniendo iniciadores con estifnato de plomo, nitrato de bario y sulfuro de antimonio. La composición elemental se caracteriza por triadas de plomo, bario y antimonio (Pb/Ba/Sb) en partículas que van desde 0,5 a más de 10  $\mu\text{m}$  de tamaño con una morfología esférica/regular típica o con forma de naranja irregular y pelada, Tabla 4.

**Tabla 4. Composición de los residuos de disparo.**

<b>Partículas GSR</b>	<b>Composición química elemental</b>	<b>Morfología</b>	<b>Tamaño, <math>\mu\text{m}</math></b>
Características	Pb / Sb / Ba asociados a Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe, Ni, Cu, Zn, Ti, Sn, Se	Esférica o regular típica; también irregular y pelada (característica de partícula fundida)	0,5 – 10
Consistentes	Ba / Ca / SiPb / SbPb / BaPbSbBa		0,5 – 10

Para el análisis de GSR provenientes del propulsor se emplean otras técnicas de análisis como Raman, FTIR o técnicas cromatográficas. En

el análisis de GSR se emplean diferentes técnicas instrumentales dependiendo de que información se quiera obtener de los componentes inorgánicos u orgánicos. Mientras que los GSR inorgánicos se analizan por SEM-EDX, los GSR orgánicos se pueden analizar por espectroscopía vibracional como FTIR y Raman o técnicas cromatográficas.

### **3.8 Análisis forense de fibras y pinturas**

En este tema se profundiza en lo que generalmente se denominan trazas forenses, haciendo referencia a muestras de vestigios de cabello, fibras textiles, pintura, vidrio o suelo entre otros posibles materiales vistos en los temas anteriores (explosivos y residuos de disparo) y otros (materiales de construcción, madera, polen, polímeros, cosméticos, lubricantes, etc.) que pueden encontrarse en la escena de un crimen y proporcionar información sobre lo ocurrido (Aljannahi et al., 2022).

Estas trazas pueden encontrarse en cantidades inferiores a las trazas elementales, que según la IUPAC se refiere a cualquier elemento con una concentración media de menos de 100 partes por millón de átomos (ppma) o inferior a 100 mg/g. Sin embargo, pueden tener un mayor tamaño como, por ejemplo, los fragmentos de vidrio de las distintas partes de un vehículo accidentado.

Por ello, para no llevar a la posible confusión de que las trazas son siempre cantidades microscópicas de estos materiales, se adopta la nomenclatura utilizada por el grupo de trabajo científico para el análisis de materiales (SWGMAT, abreviatura de su denominación inglesa

Scientific Working Group for Materials Analysis) y del libro de Harris y Lee, reeditado en 2019 por segunda vez, que agrupa la gran diversidad de trazas forenses como vestigios materiales.

### ***3.8.1 Fibras***

Una fibra, según la RAE, es cada uno de los filamentos que entran en la composición de los tejidos orgánicos vegetales o animales, cada uno de los filamentos que presentan en su textura algunos minerales, como el amianto, un producto textil sintético, por oposición al de origen natural, o un filamento sintético de diversa naturaleza y distintas aplicaciones industriales (fibra de vidrio, de carbono) entre otros significados. En el ámbito forense, la concepción de fibras es amplio porque se refiere a los fragmentos pequeños, a menudo microscópicos, de diversos tipos de material que puede transferirse entre personas, lugares y objetos y persistir allí durante un tiempo.

#### **Fibras textiles**

Las fibras actúan como la unidad básica de los textiles y se describen típicamente como una unidad de material, sintético o natural, cuya longitud es significativamente más larga que su anchura. Hoy en día existe una gran diversidad de fibras textiles que se pueden agrupar según su origen en fibras naturales o químicas, Tabla 5.

**Tabla 5. Clasificación taxonómica de fibras forenses.**

<b>Categoría Principal</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Tipo / Clase</b>	<b>Ejemplos Específicos</b>
Naturales	Animales	Proteicas	Lana, seda
	Vegetales	Celulósicas	Algodón, cáñamo
	Minerales	Silicatos / Otros	Amianto, lana mineral
Químicas  (sintéticas)	Semisintéticas	Celulosa regenerada	Rayón, lyocel
		Celulosa acetilada	Acetato
	Sintéticas	Poliolefinas	Polietileno, polipropileno
		Polivinílicos	Acrílicos, modacrílicos, etc.
		Poliamidas	Aramida, nailon

<b>Categoría Principal</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Tipo / Clase</b>	<b>Ejemplos Específicos</b>
		Poliéster	Poliéster
		Otros	Poliuretano segmentado segmentado espandex

Las fibras naturales pueden ser de origen animal, vegetal o mineral. Las fibras animales están constituidas por proteínas, las fibras vegetales por celulosa y las fibras minerales son poco comunes. Las dos fibras minerales de interés forense son el amianto y la lana mineral. Ambas fibras se han utilizado como aislante, pero pueden producir fibras tan pequeñas y ligeras que pueden permanecer suspendidas en el aire y su inhalación prolongada puede causar problemas de salud.

Las fibras animales más importantes son la lana y las fibras elaboradas de cabello animal. La lana proviene de las ovejas, pero las fibras de cabello animal pueden producirse a partir del pelo de otros animales como las llamas o las alpacas, entre otras. El pelo fino de estos animales puede hilarse para producir fibras textiles. Sin embargo, la seda es una fibra animal que procede del capullo de un gusano de seda. Estos capullos se recogen y hierven antes de ser desenredados en hilo de seda. El hilo de seda se exuda de un pequeño órgano del abdomen del gusano

de seda y no presenta la morfología de las fibras animales elaboradas a partir de pelo animal.

### ***3.8.2 Transferencia, persistencia e interés forense de las fibras***

Para que una fibra se convierta en un vestigio dubitado es necesaria la transferencia de un objeto o lugar a otro (Aberle et al., 2022). Existen una gran cantidad de objetos o prendas de vestir compuestos de fibras textiles de distinta naturaleza como son: la ropa de las víctimas y los sospechosos, las alfombras, las moquetas, etc., las fundas de distintos objetos (móvil, portátil, tableta, etc.) o los asientos de vehículos, entre muchos otros (Lepot et al., 2023).

Las fibras de estos objetos/ropas se pueden desprender a través de actividades como la abrasión, el lavado y el estiramiento de un material textil. Si tiene daño físico puede permitir que se pierdan fibras. Por tanto, el desgaste normal y los patrones de actividad conducen a que las fibras se tiren y se transfieren a otras personas u objetos a través del contacto. La transferencia de fibras textiles permite relacionar la presencia de una prenda y, por tanto, del individuo que la vestía en un lugar determinado como puede ser el asiento de un vehículo. O es posible deducir si ha existido contacto entre dos prendas y, por consiguiente, entre las personas que las portaban. Así el análisis de fibras textiles puede requerirse en:

- Homicidios y lesiones: cuando ocurren como consecuencia de una lucha directa entre el agresor y la víctima.

- Violaciones: cuando las prendas del agresor han estado en contacto más o menos violento con las de la víctima.
- Robos: cuando existe contacto entre las prendas del delincuente con los objetos que le rodean o con las prendas de la víctima.
- Atropellos: cuando las prendas del peatón pueden dejar fibras sobre algunas zonas del vehículo que le atropella.

También es frecuente encontrar muestras de pelo durante las investigaciones criminales porque los pelos se pierden fácilmente tanto por las víctimas como por los sospechosos durante una actividad criminal. De hecho, perdemos unos 100 pelos al día y estos pelos se transfieren a nuestra ropa y entorno. La facilidad con la que se transfiere el pelo y persiste hace que esté accesible para recogerlo y proporcionar información forense importante. Como los pelos son un tipo específico de fibra, su transferencia y persistencia se ha basado en estudios realizados con diferentes tipos de fibra como la lana, que es pelo de oveja.

### ***3.8.3 Análisis forense de fibras***

Para el análisis de pelo animal y humano el grupo de trabajo científico para el análisis de materiales (SWGMAT)<sup>7</sup> y ENFSI (ENFSI-BPM-THG-03) hacen recomendaciones para su examen microscópico y comparativo (Kuwayama et al., 2022). Atendiendo a estas recomendaciones, cualquier examen de pelo comienza empleando un microscopio confocal. Aunque la mayoría de los pelos no se ven

transparentes, permiten que pase suficiente luz a su través si están bien iluminados (Holman et al., 2025).

Para ello, se coloca el pelo en un portaobjetos de vidrio en la platina del microscopio, y con la iluminación adecuada, se puede ver la estructura del cabello. Los pelos muy pigmentados, de color muy oscuro, no dejan pasar mucha luz y son difíciles de examinar microscópicamente. También son difíciles de examinar los pelos canos ya que no tienen gránulos de pigmento y aparecen casi transparentes al iluminarlos en el microscopio confocal.

Sin embargo, incluso en pelos muy oscuros, la raíz y las puntas son más delgadas y permiten que pase más luz a su través y observar en esas zonas su estructura. La guía de buenas prácticas ENFSI-BPM-THG-03 recomienda prestar atención a unas 20 características diferentes al hacer una comparación completa del pelo por microscopía. Incluye características generales (color, forma, longitud, diámetro, sección transversal y extremos proximal y distal) y también características de la cutícula (orientación, patrón, distancia), del córtex (pigmentación y su distribución), la médula (anchura, estructura, márgenes) y otros (radio medular y daño).

Entre todas estas características, el color es una característica de comparación útil, pero hay otras como la distribución de pigmentos, la apariencia de la médula, las estructuras en el córtex y las características de las puntas que también resultan de gran utilidad. Por lo general, el análisis microscópico de pelo humano puede proporcionar información sobre las características raciales del donante, el probable origen corporal

del cabello (p. ej., de la cabeza, el pubis, facial o corporal), la fase de crecimiento de la raíz y la presencia o ausencia de tratamientos artificiales, daño o enfermedad del cabello. Algunas de estas características pueden ayudar a proporcionar una descripción física de un sospechoso y otras pueden proporcionar información reconstructiva sobre ciertas actividades que pueden haber ocurrido durante la comisión del delito.

Respecto al examen de pelo animal lo que suele perseguirse en los laboratorios forenses es diferenciar el pelo humano y animal y determinar de qué tipo de animal podría ser el pelo. Hay algunas colecciones de referencia de pelo de muchos tipos diferentes de animales que están disponibles, incluso algunos laboratorios han desarrollado sus propias colecciones. Por lo general, es posible excluir a un animal como posible fuente, pero es poco probable llegar a conclusiones sólidas de que un pelo particular proviene de un animal específico basado en características microscópicas.

### **3.9 Análisis forense de vidrios y suelos**

#### **Vidrios: aspectos generales**

El vidrio, según la RAE, es un material duro, frágil y transparente o translúcido, sin estructura cristalina, obtenido por la fusión de arena silíceo con potasa y moldeable a altas temperaturas. Desde el punto de vista químico, el vidrio es una mezcla de sólidos fundidos que no cristalizan al enfriarse. Los tipos más comunes de vidrio se componen

principalmente de arena ( $\text{SiO}_2$ ), un poco de cal ( $\text{CaO}$ ) y un poco de potasa ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) o ceniza de soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Desde el punto de vista químico, el vidrio no es un sólido cristalino (razón por la que no debemos decir que el vidrio es un cristal), sino que se asemeja a un líquido superenfriado caracterizado por una estructura no cristalina o amorfa en la que los átomos que lo forman no están ordenados como ocurre en un sólido cristalino. Eso significa que tiene una estructura más similar a un líquido que a un sólido cristalino, que permite que la luz pase a su través.

Los vidrios se pueden agrupar según su uso o aplicación en vidrios de construcción, vidrios de vehículos, vidrios de contenedores (botellas y frascos) y otros. En otros tipos de vidrio pueden agruparse, las fibras de vidrio (para aislamiento), el vidrio doméstico (presente en la vajilla), los faros de automóviles y el vidrio óptico. El tipo más común de vidrio es el vidrio sódico-cálcico, que se fabrica fundiendo arena silíceo, ceniza de soda, piedra caliza y otros componentes modificadores como el óxido de magnesio, el óxido de aluminio, el óxido de potasio o el óxido de bario.

También se puede añadir vidrio roto reciclado. Las ventanas de construcción, las ventanas de automóviles y los envases se fabrican comúnmente a partir de vidrio sódico-cálcico. Otro tipo de vidrio habitual es el vidrio de borosilicato, que añade óxido bórico a la sílice, confiriéndole al vidrio una excelente resistencia a los golpes térmicos y utilizándose con frecuencia en faros y utensilios de cocina.

## **Fracturas en vidrios**

Una característica del vidrio es que es frágil y se rompe cuando se somete a impactos. Para estudiar las fracturas de un vidrio es necesario tener en cuenta si el vidrio es flotado (plano) o templado porque tienen un tipo de rotura diferente. Un vidrio plano se rompe por tensión en lugar de compresión, de manera que la superficie que se rompe primero es el lado opuesto de la zona del impacto.

El proceso involucrado en la rotura del vidrio plano se explica porque un impacto (fuerza aplicada a la superficie) producirá compresión en el lado de la fuerza y tensión en el lado opuesto. El estado de tensión crea fracturas radiales que producirán, a la vez, la compresión posterior de ese lado del vidrio. Esta compresión producirá más tensión en el lado expuesto originalmente a la fuerza, creando fracturas concéntricas. Por tanto, observando la superficie y el tipo de fractura del vidrio es posible indicar la cara en la que se produjo el impacto.

Por otro lado, siguiendo las estrías y dibujos es posible determinar el orden de los impactos, ya que la fractura de un impacto posterior se ve limitada por la fractura de un primer impacto, para lo que es necesario prestar atención a los bordes de ruptura radial y concéntrica. Además, el tipo de fractura observada en la superficie permite identificar el lado por el que se realizó el impacto que produjo la fractura.

## **Transferencia, persistencia e interés forense del vidrio**

Cuando un objeto de vidrio se rompe, los fragmentos pueden dispersarse en todas las direcciones, incluso en sentido contrario al del impacto, llegando a alcanzar hasta cuatro metros de distancia desde el objeto de vidrio roto. Los fragmentos de vidrio generados se pueden transferir a cualquier cosa, dentro de esta distancia, dependiendo de la cercanía, de quien hace la acción y la propia acción.

- **La cercanía:** Cuanto más cerca esté algo del vidrio roto, más probable es que se le transfieran fragmentos de vidrio. Como vimos para las partículas de GSR, el número de fragmentos de vidrio transferidos disminuye con la distancia desde el punto de rotura.
- **Quién hace la acción:** la persona que rompe una ventana tendrá más fragmentos de vidrio que otra persona cercana, y, además, tendrá tantos más fragmentos cuantos más golpes haya necesitado dar para romper el vidrio.
- **La acción realizada:** el número de fragmentos de vidrio generados por una rotura es independiente del tamaño y grosor de la ventana, pero si aumenta con los impactos y daños originados en el vidrio. La persistencia de un fragmento de vidrio en la ropa depende del tipo de ropa, el tiempo transcurrido desde la rotura y la actividad realizada.

- **El tipo de ropa:** se retiene menos vidrio en ropa resbaladiza, como chaquetas de nailon, que, en ropa más áspera, como abrigos de lana. La ropa húmeda también retiene más vidrio que la ropa seca.
- **El tiempo transcurrido:** los fragmentos de vidrio se caen de la ropa con el paso del tiempo, como la gravedad tiene un efecto importante, las piezas de vidrio más grandes se caen antes que las piezas más pequeñas.
- **La actividad realizada:** el vidrio se cae más rápido si la persona que lleva la ropa está activa.

Cabe señalar, sin embargo, que la transferencia y persistencia del vidrio es muy variable. Además, aunque pueda predominar la transferencia primaria: la transferencia del objeto de vidrio roto a otra cosa o persona es preciso tener en mente la posibilidad de una transferencia secundaria de vidrio entre personas y objetos, como cuando el vidrio se transfiere de una persona a un asiento de un vehículo. Estos aspectos son muy importantes porque los fragmentos de vidrio encontrados en un objeto no sabremos si se deben a una transferencia primaria, secundaria o, incluso, a través de contacto del objeto con vidrios previamente rotos.

Los vidrios tienen interés forense cuando se hacen comparaciones de dos o más fragmentos de vidrio con el fin de determinar si se originaron en diferentes fuentes. Con menos frecuencia, se puede preguntar sobre el uso final o la procedencia del vidrio. Por ejemplo, una pregunta de procedencia podría ser: ¿Es este fragmento de vidrio roto de una

bombilla? Estos exámenes requieren determinar las características de clase que pueden asociar objetos con un grupo de objetos similares, como envases, automóviles, construcciones u otros, pero no con un solo objeto.

### **Análisis forense de vidrios**

Para el análisis forense de vidrios el grupo de trabajo SWGMAT5 ha elaborado guías para asistir a los examinadores en la evaluación, selección y aplicación de pruebas para la investigación de vidrios. De forma resumida, son tres las aproximaciones genéricas para el análisis forense de vidrios: el examen de las características morfológicas, la medida del índice de refracción o el análisis elemental de los vidrios en investigación.

En el examen morfológico hay varias características que permiten comparar entre muestras conocidas y cuestionadas. Así, se puede intentar determinar si dos piezas de vidrio coinciden físicamente, porque si dos o más fragmentos de vidrio roto encajan físicamente entre sí, se puede decir que alguna vez fueron parte del mismo objeto. También se puede comparar el color, las características de espesor de la superficie y la curvatura de las muestras de vidrio o la fluorescencia.

Aunque el examen de estas propiedades es simple, puede ser crítico en la comparación de vidrios. Podemos pensar que el vidrio es incoloro, al colocarlo sobre una superficie blanca bajo una iluminación adecuada generalmente se observan tonos de color sutiles. Solo los vidrios muy

finos o de gafas puede ser prácticamente incoloros. El color permite agrupar múltiples piezas de vidrio de un incidente de forma rápida.

El espesor es una propiedad importante en el vidrio plano, porque permite asociar de forma sencilla los fragmentos procedentes de una pieza de vidrio más grande. Las características superficiales, como la forma del fragmento o el desgaste por estar en el exterior o interior durante décadas, permite obtener información adicional. Por último, muchas lentes de gafas tienen la propiedad de emitir luz visible cuando se iluminan con luz ultravioleta, esto se denomina emisión de fluorescencia. Por tanto, iluminar con luz UV los vidrios en oscuridad puede ser muy revelador.

Como ejemplo, el vidrio plano que se hace mediante flotado sobre estaño fundido emite fluorescencia por el lado en contacto con el estaño. Esta propiedad en un vidrio plano permite saber qué lado es el que va hacia arriba o abajo. Esto resulta de gran utilidad para ordenar y unir correctamente el puzzle de piezas de la multitud de fragmentos del vidrio roto. Todas estas pruebas son no destructivas y pueden producir suficientes resultados para llegar a una exclusión sin realizar exámenes adicionales.

### **Análisis forense de vidrios por LA-ICP-MS**

Para el análisis elemental de vidrios por LA-ICP-MS se pegan los fragmentos de vidrio a investigar sobre un portaobjetos que se coloca en la celda de ablación, allí, un láser, generalmente de Nd:YAG, realiza la ablación en un punto (de unos 40-100  $\mu\text{m}$ ) y la muestra en estado vapor

generada pasa al ICP empleando una corriente de helio. En el plasma del ICP se producen temperaturas muy elevadas que producen la atomización de la muestra a analizar. Los elementos generados pasan al MS donde se separan por su relación  $m/z$  y detectan.

El desarrollo de un método por LA-ICP-MS requiere una comparación de la muestra de vidrio con materiales de vidrio de referencia. Desafortunadamente, son pocos los materiales certificados de referencia de vidrio.

### **3.10 Aspectos químico forense de documentos cuestionados**

Este tipo de estudio forense implica el examen de documentos tanto impresos como manuscritos. A su vez, ello supone el análisis de tintas y papel. Además, en el caso de manuscritos hay que hacer una cuidada revisión de los rasgos de la letra e, incluso, del estilo de redacción y, en los documentos firmados, la comprobación de la autenticidad de la firma. Por todo ello, este campo de la investigación forense es amplio y complejo, requiriendo la colaboración de técnicas y especialidades muy diversas, aunque obviamente aquí nos centraremos en los aspectos relacionados con la química.

El examen de «documentos cuestionados», del inglés Questioned Documents Examination (QDE), constituye una disciplina dentro de la ciencia forense dirigida al estudio, análisis y dictamen de ciertos documentos que pueden estar relacionados con hechos presuntamente delictivos y en muchos litigios de nuestra vida social. En otros tiempos

la grafología era imprescindible y casi la única vía de estudio para este tipo de documentos.

Después, con la introducción de las máquinas de escribir y posteriormente de los ordenadores, se han ampliado las vías de investigación. Hoy en día, no obstante, gracias a la colaboración de otras ciencias, la química, sobre todo, y a los grandes avances tecnológicos, este estudio se ha perfeccionado enormemente, a la vez que se ha convertido en mucho más objetivo. Los documentos pueden constituir importantes evidencias en ciertos sucesos, como son falsificaciones, secuestros, homicidios, suicidios, chantajes..., aunque generalmente no tienen por qué encontrarse en la escena del suceso, como otros tipos de evidencias.

Muchos de ellos forman parte de nuestra vida diaria, tanto en aspectos sociales como en el mundo de los negocios. Desde cartas, diarios, contratos o testamentos hasta pasaportes, carnés de conducir, cheques... e, incluso y como caso curioso, el análisis de billetes de lotería. Pero la investigación forense de documentos es mucho más amplia, pues también implicaría el estudio de documentos históricos y, dentro del servicio secreto, de documentos relacionados, por ejemplo, con cuestiones de espionaje.

### ***3.10.1 Forma de recoger y transportar los documentos cuestionados***

Al recoger un documento para su fuer análisis forense, debe hacerse con sumo cuidado a fin de no deteriorarlo. Cada hoja se guardará separadamente de las otras que pudiera contener el documento para

evitar que se contaminen entre sí, introduciéndolas una a una en una carpeta de cartón, que a su vez se guardará en una bolsa de plástico para aislarlas en lo posible del medio ambiente, evitando también así que se doblen o arruguen. En el transporte, igualmente, se evitará su deterioro.

En cualquier caso, es importante tener presente que siempre se debe asegurar la integridad del documento a examinar. Por ello, se debe manipular con cuidado y en su análisis se intentarán emplear técnicas analíticas no destructivas (aunque esto no sea siempre posible).

### **Análisis forense de tintas**

El examen de la tinta o tintas con las que se ha escrito un documento es de interés fundamental para el estudio forense. El problema más general para resolver es determinar si la tinta es la misma en todo el documento o, por el contrario, si se han empleado distintos tipos de tintas (Mirzanli et al., 2025). De esta manera, se podrá conocer también si se ha intentado modificar el contenido del texto introduciendo nuevas anotaciones, modificando palabras, letras o cifras e, incluso, borrándolo en parte.

### **Composición de las tintas**

La composición de las tintas ha variado mucho a través de los tiempos. En la Antigüedad se elaboraban a base de negro de humo mezclado con cola o suspendido en aceite, caso de los antiguos egipcios. En la Edad Media se emplearon mucho las tintas ferrogálicas, llamadas así por el ácido gálico (ácido 3,4, 5-Zrihidroxibenzoico), que se encuentra en las agallas del roble y en otras plantas formando parte de los taninos. En

estas tintas el color era debido a tanatos de hierro (II), formados por reacción de los taninos con sales ferrosas, a lo que se añadía cola o goma arábica para mantenerlos en suspensión.

Poco a poco se fueron agregando otros ingredientes a fin de mejorar las cualidades de las tintas, sobre todo las relativas a su viscosidad o a su resistencia a hongos y bacterias. También se emplearon otros productos colorantes, principalmente tintes naturales, hasta que fueron sustituidos por los tintes sintéticos.

Respecto a la investigación forense, hay que destacar ante todo que las tintas constituyen un grupo de productos muy heterogéneo y que, desde el punto de vista químico, fundamentalmente están constituidas por dos componentes principales: un material responsable del color (es decir, colorantes), que se encuentra disuelto o suspendido en otro componente, un material que constituye su vehículo o portador.

### **Técnicas analíticas para tintas**

El primer problema con el que se encuentra el especialista forense cuando se enfrenta al análisis de una tinta es que, como ocurre en las pinturas, se trata de una mezcla y no de un compuesto único. Esto supone, pues, una dificultad añadida para conseguir su identificación, por lo que el caso más frecuente es el análisis comparativo, bien entre dos tintas desconocidas para comprobar si son o no iguales, bien comparando las características de la tinta estudiada con las de las bases de datos.

Para estudiar las tintas el forense dispone de una serie de métodos:

- **Métodos ópticos:** Presentan la ventaja de ser no destructivos. Los más importantes son:
  - Métodos microscópicos: Se comenzará por el examen del documento al microscopio, que proporcionará datos sobre la tinta en cuanto a su color, brillo, profundidad del trazo, adherencia, etc. Este examen puede revelar la presencia de partículas metálicas, así como la de pigmentos, debido a sus formas cristalinas y propiedades ópticas. Además, permite distinguir entre distintos métodos de impresión (por ejemplo, entre un tóner para impresoras láser o de tipo de inyección). Este examen también aportará algunos importantes datos sobre el del papel, como se tratará más adelante.
  - Técnicas luminiscentes: Se ha comprobado que muchas tintas tienen propiedades luminiscentes, además muy variadas, por lo que se emplean técnicas que se basan, pues, en este tipo de propiedades. Para ello se estudia la tinta iluminándola con luz a distintas longitudes de onda, del IR al UV, e incluso a veces también con láser. La respuesta de la tinta dependerá de su naturaleza química. Así, muchas tintas dan fluorescencia en la región visible o IR del espectro cuando se las ilumina, respectivamente, con luz UV o con luz visible. Para poder detectar la fluorescencia IR es necesario emplear filtros y una película fotográfica sensible al IR, con lo que la emisión IR se convierte en la equivalente visible (ya que de lo contrario no podríamos verla).

- **Métodos químicos:** Cuando se necesita hacer un análisis más riguroso para conocer la composición de una tinta, se recurre a métodos químicos más clásicos. Son destructivos, aunque se intenta minimizar este problema empleando una pequeñísima cantidad de muestra:
  - Pruebas de solubilidad: Se trabaja con diminutas partes del documento, a las que se añaden los disolventes para comprobar si la tinta se disuelve o no en cada uno de ellos. Las tintas cuyo vehículo es un disolvente de tipo orgánico, se suelen disolver en piridina (por ejemplo, las de bolígrafo). Las tintas acuosas, por su parte, se disuelven en metanol, etanol o mezclas etanol-agua.
  - Técnicas cromatográficas: Como las tintas suelen contener varios tintes y éstos son moléculas orgánicas, una vez disuelta la muestra dichos tintes se pueden separar por una técnica tan rápida y sencilla como la TLC (cromatografía en capa fina). También se emplea la HPLC (cromatografía líquida de alta eficacia). La muestra de tinta a analizar se prepara bien pinchando sobre el escrito a estudiar con una aguja hipodérmica o bien raspando cuidadosamente con un bisturí una pequeñísima porción dentro de una línea de un carácter del texto. De esta manera se intenta dañar éste lo menos posible.

### **Resumen:**

La química forense toxicológica abarca el estudio de diversas sustancias y materiales implicados en delitos, tales como las sustancias

psicoactivas, venenos, explosivos y residuos de disparos. Estos elementos son analizados mediante técnicas avanzadas que permiten identificar su composición y origen, lo que resulta importante para investigaciones criminales. Asimismo, el análisis forense de fibras, pinturas, vidrios y suelos proporciona información relevante para la reconstrucción de hechos delictivos.

## **Conclusiones**

La integración de la química en el análisis forense proporciona una herramienta poderosa para la investigación criminal. El conocimiento de sustancias psicoactivas, venenos, explosivos y micro evidencias, combinado con el uso de técnicas instrumentales de alta precisión, permite identificar los materiales implicados en delitos y establecer conexiones directas entre el delito y sus perpetradores.

## **Proceso Evaluativo**

### **Actividad de inicio:**

- Socializar los videos que se encuentran en la plataforma y los documentos de lectura, los que permitirán dar un panorama integradora de los contenidos de la unidad.
- Los estudiantes hacen una lectura previa de los contenidos expuestos en los documentos de lectura y de la unidad de la guía metodológica.

### **Actividad de desarrollo:**

- A través de la técnica de lluvia de ideas aclarar conceptos sobre Química forense toxicológica: sustancias psicoactivas; toxicología forense; venenos en toxicología forense; investigación de incendios; explosivos y explosiones; análisis forense de residuos de disparos; análisis forense de fibras y pinturas; análisis forense de vidrios y suelos; aspectos químico forense de documentos cuestionados.
- A través de la técnica del debate, los estudiantes desarrollarán pensamiento crítico, que ayudará al desarrollo de las actividades de la unidad 3.

### **Actividad de cierre:**

- Utiliza el pensamiento crítico para desarrollar la actividad propuesta en la unidad 3.
- Al finalizar la unidad 3, los estudiantes rendirán pruebas sobre los conocimientos adquiridos, mediante ensayo y test de evaluación semanal.

### **Evaluación de los aprendizajes.**

- Lectura crítica.
- Aprendizaje en contacto con el Docente y aprendizaje autónomo.
- Prueba. Cuestionario.

## CAPÍTULO IV

### 4 REVELADO DE HUELLAS DACTILARES

**Resultado de aprendizaje:** Al finalizar esta unidad, los estudiantes serán competentes en la aplicación de técnicas de revelado y análisis de huellas dactilares, utilizando métodos químicos y físicos.

#### **Introducción**

El estudio y uso de las huellas dactilares como herramienta de identificación en investigaciones criminalísticas tiene una rica historia que se remonta a finales del siglo XIX, cuando comenzaron a reconocerse las características únicas de las crestas papilares presentes en los dedos. Desde entonces, la lofoscopia y la dactiloscopia han sido disciplinas importantes en la identificación de individuos. A lo largo de los años, los avances científicos han permitido perfeccionar las técnicas de búsqueda y revelado de huellas dactilares latentes, haciéndolas cada vez más precisas y fiables (Girod-Frais & Bécue, 2021).

La piel de fricción que cubre los dedos y las palmas de las manos es útil para la formación de las huellas dactilares. Estas crestas papilares, con su morfología única en cada individuo, son la base de la identificación dactiloscópica. Existen diferentes tipos de huellas dactilares, como las visibles, plásticas y latentes, cada una de las cuales requiere métodos específicos para ser identificadas y reveladas. Las técnicas de revelado de huellas latentes, como el uso de polvos, vapores de cianoacrilato y tratamientos químicos, han sido empleadas para revelar huellas invisibles a simple vista en la escena del crimen.

La importancia de las huellas dactilares radica en su valor como prueba irrefutable en los tribunales de justicia. A lo largo de la historia, esta técnica ha evolucionado y ha sido reconocida como una de las más confiables en la identificación forense. Hoy en día, la química forense transdisciplinar juega un papel preponderante al combinar conocimientos de diversas áreas científicas para mejorar las técnicas de revelado y análisis de huellas, contribuyendo a la resolución de casos complejos.

## **4.1 Revelado de huellas dactilares**

### ***4.1.1 Perspectiva histórica***

El uso de las huellas dactilares como método de identificación ha pasado por un proceso evolutivo importante desde finales del siglo XIX. Inicialmente, las observaciones científicas sobre las crestas papilares comenzaron a tener relevancia en el contexto de la criminalística gracias a pioneros como Francis Galton, quien en 1892 publicó un estudio detallado sobre la singularidad y permanencia de las huellas dactilares. A partir de ese momento, el potencial de las huellas para identificar individuos se consolidó, y en países como Argentina y Reino Unido se implementaron los primeros sistemas de clasificación y archivo de huellas dactilares.

En los inicios del siglo XX, el método de identificación dactiloscópica se extendió por el mundo, integrándose en los cuerpos policiales como una herramienta confiable para identificar sospechosos. Casos emblemáticos, como el de Will West en 1903 en Estados Unidos,

demonstraron la superioridad de las huellas dactilares frente a otros métodos de identificación, como las mediciones antropométricas. A lo largo del tiempo, la dactiloscopia ha sido reconocida en el ámbito jurídico como una de las pruebas más concluyentes debido a la singularidad de las huellas.

Hoy en día, las huellas dactilares son una piedra angular de la investigación criminal, y el proceso de revelado y análisis ha evolucionado con la incorporación de tecnologías avanzadas. La historia de esta técnica muestra su inquebrantable fiabilidad y su valor inestimable en la identificación de personas en todo tipo de investigaciones, desde delitos menores hasta casos de homicidio. El uso de bases de datos automatizadas, como el AFIS (Sistema Automatizado de Identificación de Huellas Dactilares), es un claro ejemplo de cómo la historia y la tecnología se han combinado para optimizar este proceso. En la Tabla 6 se muestra un resumen de la evolución y concepto de la identificación dactilar.

***Tabla 6. Evolución y conceptos de la identificación dactilar.***

<b>Disciplina</b>	<b>Definición</b>	<b>Aplicación en la Escena</b>
Lofoscopia	Estudio general de los dibujos formados por las crestas papilares en la piel.	Marco teórico para la clasificación de relieves cutáneos.

---

<b>Disciplina</b>	<b>Definición</b>	<b>Aplicación en la Escena</b>
Dactiloscopia	Rama específica que se centra en las huellas de las yemas de los dedos.	Método principal de identificación personal en criminalística.
Huellas Latentes	Marcas invisibles compuestas por sudor y aceites.	Requieren técnicas de revelado (físicas o químicas) para ser visibles.
Crestas Papilares	Relieves epidérmicos que forman el dibujo dactilar.	Sus puntos característicos (minucias) permiten la identificación única.

---

## **4.2 Piel de fricción, morfología de las crestas papilares**

La piel de fricción que cubre las yemas de los dedos, las palmas de las manos y las plantas de los pies está compuesta por crestas y surcos que forman patrones únicos en cada individuo, conocidos como crestas papilares. Esta piel tiene una estructura especializada, sin glándulas sebáceas, pero con glándulas sudoríparas, lo que permite que se produzcan huellas visibles o latentes cuando la piel entra en contacto con superficies. Las crestas papilares se forman durante el desarrollo fetal y permanecen inalterables a lo largo de la vida, lo que las convierte en una característica invaluable para la identificación forense.

La morfología de estas crestas varía en cada persona, lo que asegura la singularidad de las huellas dactilares. Existen tres patrones principales: arcos, lazos y verticilos, cada uno con subvariantes y detalles que aumentan la complejidad del análisis dactiloscópico. Además, las minucias o puntos característicos, como bifurcaciones, islas o terminaciones de las crestas son elementos esenciales que permiten la comparación y coincidencia de huellas con un alto grado de precisión (Rivaldería et al., 2024).

El conocimiento de la piel de fricción y la morfología de las crestas papilares es importante para la identificación de sospechosos y para la correcta recolección y análisis de las huellas en escenas del crimen. Las condiciones en las que se encuentran las huellas y el tipo de superficie en la que se depositan afectan el proceso de revelado, por lo que es fundamental entender la naturaleza de esta piel especializada para garantizar un análisis adecuado y riguroso.

### **4.3 Lofoscopia y dactiloscopia**

La lofoscopia y la dactiloscopia son las disciplinas científicas dedicadas al estudio y clasificación de las huellas dactilares. La lofoscopia engloba el estudio de las huellas presentes en cualquier parte del cuerpo que esté cubierta por piel de fricción, mientras que la dactiloscopia se centra específicamente en las huellas dactilares. Ambas disciplinas juegan un papel vital en la criminalística, ya que permiten identificar de manera precisa a individuos mediante la comparación de patrones de crestas papilares.

La dactiloscopia sigue una metodología rigurosa que implica la clasificación, el análisis y la comparación de huellas. Los expertos en esta disciplina utilizan sistemas de clasificación, como el método de Henry, que organiza las huellas en categorías basadas en sus patrones básicos. Estos métodos de clasificación permiten organizar grandes volúmenes de datos en bases de datos que facilitan la búsqueda e identificación de huellas, un proceso que ha sido automatizado en gran parte por tecnologías como el AFIS (Gibb & Riemen, 2023).

El uso de la dactiloscopia en el ámbito forense no se limita a la identificación de personas en investigaciones criminales, también tiene aplicaciones en contextos civiles, como la verificación de identidades en trámites legales o el acceso a sistemas de seguridad. A medida que avanzan las técnicas de revelado de huellas latentes y la capacidad para analizarlas en diversas superficies, la lofoscopia y la dactiloscopia continúan siendo herramientas imprescindibles para la justicia y la investigación criminal.

#### **4.4 Tipos de huellas dactilares**

Las huellas dactilares se clasifican en tres tipos principales: huellas visibles, huellas plásticas y huellas latentes. Las huellas visibles se producen cuando las crestas papilares de los dedos entran en contacto con una sustancia como sangre, tinta o polvo, dejando una impresión que puede observarse a simple vista. Estas huellas son fáciles de identificar y no requieren métodos de revelado especiales. Las huellas plásticas, por otro lado, se forman cuando los dedos presionan una superficie blanda como arcilla, cera o jabón, dejando una impresión

tridimensional que también es visible a simple vista y se puede analizar sin mayores complicaciones.

Las huellas latentes son las más comunes en las investigaciones criminalísticas y, a la vez, las más difíciles de detectar. Se forman cuando las glándulas sudoríparas de la piel de fricción depositan sudor o aceites en una superficie, dejando una marca invisible que solo puede ser revelada mediante técnicas especiales. Estas huellas requieren un análisis detallado y, en muchos casos, técnicas avanzadas de revelado para ser observadas y recolectadas. Dado que las huellas latentes no se ven a simple vista, su descubrimiento es esencial en la investigación de la escena del crimen.

Cada tipo de huella ofrece diferentes retos para su identificación y análisis. Por ello, los peritos en lofoscopia deben estar capacitados para emplear diversas metodologías que les permitan adaptarse a las condiciones particulares de cada caso. El éxito en la recolección y análisis de huellas depende de la capacidad para entender la naturaleza del tipo de huella presente y elegir la técnica más apropiada para su revelado.

#### **4.5 Búsqueda de huellas dactilares latentes**

La búsqueda de huellas dactilares latentes es una parte importante de la investigación criminalística y requiere una observación minuciosa y un conocimiento de los materiales y superficies en las que pueden encontrarse. Las huellas latentes, al ser invisibles al ojo humano, necesitan métodos específicos para su localización. Entre las superficies

más comunes donde se encuentran huellas están el vidrio, el metal, la madera y el plástico. Dependiendo del tipo de superficie, la selección de la técnica de búsqueda es crítica para preservar la integridad de las huellas.

En una investigación, es importante que el proceso de búsqueda de huellas latentes comience en las áreas donde se prevé mayor contacto con las manos, como manijas de puertas, ventanas, muebles o armas. Los investigadores deben utilizar iluminación especializada, como luz oblicua o ultravioleta, para identificar posibles huellas. Una vez localizadas, el perito debe asegurarse de que la recolección de las huellas no las contamine ni las degrade, ya que su correcto manejo es crucial para su análisis posterior (O'Malley et al., 2022).

La búsqueda de huellas latentes implica la detección de las impresiones en la escena del crimen y una comprensión de las condiciones ambientales que pueden afectar la conservación de las huellas, como la humedad, la temperatura o la textura de la superficie. La formación de los investigadores en estas técnicas de búsqueda garantiza que las pruebas recolectadas puedan contribuir de manera efectiva a la resolución de un caso.

#### **4.6 Técnicas de revelado de huellas dactilares latentes**

El revelado de huellas dactilares latentes es uno de los procedimientos más complejos e importantes en la ciencia forense, ya que implica la visualización de huellas que no pueden ser detectadas a simple vista. Existen diversas técnicas de revelado, y su elección depende de la

naturaleza de la superficie y del entorno en el que se encuentran las huellas. Uno de los métodos más comunes es el uso de polvos dactiloscópicos, que se aplican en la superficie donde se presume que hay huellas. Estos polvos se adhieren a los aceites y sudor dejados por las crestas papilares, permitiendo que las huellas se hagan visibles.

Otra técnica importante es el **revelado mediante vapores de cianoacrilato**, también conocido como "superglue fuming". Este método se utiliza sobre todo en superficies no porosas, como vidrio o metal. Los vapores de cianoacrilato reaccionan con los componentes presentes en el sudor de las huellas, formando una capa blanca que hace visibles las impresiones. Además, se pueden utilizar métodos químicos como el ninhidrín, que reacciona con los aminoácidos presentes en el sudor, o la fluorescencia inducida por láser, que permite observar las huellas bajo luz ultravioleta o infrarroja.

El éxito de estas técnicas radica en su correcta aplicación y en el uso adecuado de las herramientas forenses. La selección de la técnica para cada situación y la capacidad del perito para preservar la calidad de la huella revelada son determinantes en el análisis posterior, que puede llevarse a cabo utilizando sistemas de identificación automatizados como AFIS o a través de comparación manual en casos más complejos.

#### **4.7 Otras huellas como elementos de identificación**

Además de las huellas dactilares, existen otras impresiones dejadas por el cuerpo humano que también pueden ser utilizadas como elementos de identificación en la investigación criminalística. Entre estas, las más

comunes son las huellas palmares (de las palmas de las manos) y las huellas plantares (de las plantas de los pies), que también presentan patrones de crestas papilares similares a los de los dedos (Kapoor et al., 2023). Estas huellas son de particular importancia en casos donde los delincuentes manipulan objetos con las palmas o caminan descalzos en la escena del crimen.

Asimismo, las huellas labiales y las huellas dentales han adquirido relevancia en ciertas investigaciones.

Las impresiones labiales, conocidas como quieloscopia, permiten identificar a un individuo a partir de los patrones únicos presentes en los labios. Por su parte, las huellas dentales, conocidas como odontología forense, son utilizadas en casos de agresión, mordeduras y en la identificación de cuerpos en estados de descomposición avanzada.

Estas huellas adicionales, junto con las dactilares, ofrecen a los investigadores un abanico más amplio de opciones para identificar a sospechosos o víctimas. La diversidad de huellas y su análisis detallado aumentan las posibilidades de encontrar pruebas concluyentes en casos complejos, siendo todas ellas elementos empleados en la identificación forense.

#### **4.8 Importancia del revelado de huellas dactilares**

La técnica del revelado de huellas dactilares es importante en la investigación criminal, ya que proporciona una prueba física directa que vincula a un sospechoso con una escena del crimen o un objeto en particular. Las huellas dactilares, debido a su singularidad y

permanencia, son una de las formas más fiables de identificación, lo que las convierte en una herramienta de gran utilidad para los peritos y las fuerzas del orden. En muchos casos, las huellas reveladas en escenas del crimen han sido determinantes en la resolución de delitos, incluyendo homicidios, robos y agresiones.

Además de su valor probatorio, el uso de huellas dactilares en los tribunales de justicia ha establecido precedentes importantes en la validación de pruebas científicas. Los tribunales han reconocido la precisión y confiabilidad de las huellas dactilares como una forma sólida de evidencia, lo que refuerza su importancia en el proceso judicial. De hecho, muchas condenas y absoluciones han dependido de la correcta identificación de huellas, lo que resalta el impacto que tiene esta técnica en la justicia penal.

Por último, la capacidad de combinar las huellas dactilares con otras pruebas forenses, como ADN o análisis químicos, demuestra el carácter transdisciplinar de la química forense. La importancia de esta técnica radica no solo en eficacia para identificar a individuos y en su integración con otras metodologías científicas, lo que permite abordar de manera integral las investigaciones criminales y fortalecer el proceso de impartición de justicia.

#### **4.9 Huellas dactilares y sus comienzos en los tribunales de justicia**

El uso de las huellas dactilares como prueba en los tribunales de justicia tuvo un impacto trascendental en el desarrollo de la ciencia forense. A

principios del siglo XX, se comenzaron a reconocer las huellas dactilares como una forma de identificación personal única e inmutable. Uno de los casos más relevantes que marcó este hito fue el caso de William West en 1903, en el que dos presos con nombres y características físicas idénticas fueron diferenciados únicamente por sus huellas dactilares, lo que impulsó su aceptación como evidencia científica. Desde entonces, los sistemas de identificación basados en huellas han evolucionado considerablemente, y los tribunales comenzaron a aceptar esta evidencia como un método fiable para vincular a sospechosos con escenas del crimen.

En los primeros casos judiciales en los que se usaron huellas dactilares, las defensas de los acusados intentaron argumentar que esta técnica carecía de fundamentos científicos sólidos. Sin embargo, con el tiempo, la acumulación de pruebas y la precisión de las comparaciones dactilares consolidaron su aceptación. En 1911, el caso *People vs. Jennings* en los Estados Unidos fue el primer juicio en el que las huellas dactilares se aceptaron oficialmente como evidencia científica en una corte estadounidense, estableciendo un precedente para futuras investigaciones forenses.

El uso de huellas dactilares en los tribunales ha continuado evolucionando a medida que las tecnologías de análisis mejoran y los sistemas de identificación automatizada, como el AFIS (Automated Fingerprint Identification System), permiten un acceso rápido y eficiente a bases de datos de huellas. Actualmente, las huellas dactilares son un componente importante en la identificación forense, y su valor

en los procesos judiciales sigue siendo indiscutible, proporcionando una conexión directa entre un individuo y el lugar o el objeto investigado.

#### **4.10 Química forense transdisciplinar**

La química forense transdisciplinar es un enfoque que integra conocimientos y técnicas de diferentes áreas de la ciencia para la resolución de casos criminales. Esta metodología no se limita únicamente al análisis químico de sustancias, sino que se expande hacia la colaboración con otras disciplinas como la biología, la física y la informática. Un ejemplo claro de esta interacción es el uso conjunto de análisis de ADN, huellas dactilares y residuos químicos en investigaciones complejas, lo que permite una reconstrucción más precisa de los hechos y la obtención de pruebas concluyentes (Baldino et al., 2023).

En el ámbito de la química forense, esta perspectiva transdisciplinar se manifiesta en la integración de técnicas instrumentales avanzadas, como la espectrometría de masas y la cromatografía de gases, con análisis biológicos o pruebas físicas. Por ejemplo, en el análisis de residuos de disparos, la química forense colabora estrechamente con la física para estudiar las trayectorias de proyectiles, o con la biología para identificar perfiles genéticos en restos biológicos asociados a las armas. Esta sinergia entre disciplinas permite abordar los problemas desde múltiples ángulos, optimizando la recolección y análisis de pruebas.

El valor de la química forense transdisciplinar radica en su capacidad para resolver casos con mayor precisión y eficiencia. Este enfoque

holístico ofrece una visión más completa de las pruebas y ayuda a esclarecer hechos complejos.

La formación de equipos interdisciplinarios de expertos fortalece el análisis de la evidencia forense, haciendo que la justicia penal sea más equitativa y basada en pruebas científicas verificables, al mismo tiempo que impulsa la innovación en técnicas de investigación y análisis (Morgan, 2024).

### **Resumen:**

La técnica de Revelado de huellas dactilares ofrece una visión integral sobre la evolución y aplicación de esta técnica en la ciencia forense. Comienza con una perspectiva histórica, destacando cómo el uso de huellas dactilares se ha consolidado como un método clave de identificación en investigaciones criminales.

Se abordan aspectos como la morfología de las crestas papilares y los principios de lofoscopia y dactiloscopia, que permiten clasificar y analizar los distintos tipos de huellas. La unidad también profundiza en la búsqueda y revelado de huellas latentes, mediante técnicas avanzadas que permiten hacer visibles huellas no perceptibles a simple vista. Además, se exploran otras formas de identificación mediante huellas y la importancia de estas técnicas en la justicia, desde su implementación en tribunales hasta su relevancia en la química forense transdisciplinar, donde la integración de diferentes disciplinas optimiza el análisis y la recolección de evidencias.

## **Conclusión:**

El desarrollo de la química forense y el uso de huellas dactilares en los tribunales representan una revolución en la justicia penal. A lo largo de la historia, la aceptación de las huellas dactilares como prueba en juicios ha fortalecido la confianza en las pruebas científicas. A la vez, la evolución hacia un enfoque transdisciplinar en química forense ha demostrado cómo la colaboración entre distintas ramas de la ciencia puede mejorar significativamente la precisión y efectividad de las investigaciones criminales. En conjunto, estos avances han transformado la manera en que la ciencia forense contribuye a la resolución de crímenes y al sistema judicial

## **Proceso evaluativo**

### **Actividad de inicio:**

- Socializar los videos que se encuentran en la plataforma y los documentos de lectura, los que permitirán dar un panorama integradora de los contenidos de la unidad.
- Los estudiantes hacen una lectura previa de los contenidos expuestos en los documentos de lectura y de la unidad de la guía metodológica.

### **Actividad de desarrollo:**

- A través de la técnica de lluvia de ideas aclarar conceptos sobre el revelado de huellas dactilares: perspectiva histórica; piel de

fricción, morfología de las crestas papilares; lofoscopia y dactiloscopia; tipos de huellas dactilares; búsqueda de huellas dactilares latentes; técnicas de revelado de huellas dactilares latentes; otras huellas como elementos de identificación; importancia de esta técnica; huellas dactilares y sus comienzos en los tribunales de justicia; química forense transdisciplinar.

- A través de la técnica del debate, los estudiantes desarrollarán pensamiento crítico, que ayudará al desarrollo de las actividades de la unidad 4.

#### **Actividad de cierre:**

- Utiliza el pensamiento crítico para desarrollar la actividad propuesta en la unidad 4.
- Al finalizar la unidad 4, los estudiantes rendirán pruebas sobre los conocimientos adquiridos, mediante ensayo y test de evaluación semanal.

#### **Evaluación de los aprendizajes:**

- Lectura crítica.
- Aprendizaje en contacto con el Docente y aprendizaje autónomo.
- Prueba. Cuestionario.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abedi, M., Bonsu, D. O. M., Badu, I. K., Afoakwah, R., & Ahuja, P. (2021). Spectroscopic (analytical) approach to gunshot residue analysis for shooting distance estimation: A systematic review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 11(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s41935-021-00253-3>
- Aberle, M. G., Kobus, H., Robertson, J., O'Driscoll, C., & Hoogewerff, J. A. (2022). A fresh scientific look at transfer and persistence: From a materials science and tribology perspective. *Journal of Forensic Sciences*, 67(1), 9-27. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14833>
- Ahmed, R., Altamimi, M. J., & Hachem, M. (2022). State-of-the-Art Analytical Approaches for Illicit Drug Profiling in Forensic Investigations. *Molecules*, 27(19), 6602. <https://doi.org/10.3390/molecules27196602>
- Aljannahi, A., Alblooshi, R. A., Alremeithi, R. H., Karamitsos, I., Ahli, N. A., Askar, A. M., Albastaki, I. M., Ahli, M. M., & Modak, S. (2022). Forensic Analysis of Textile Synthetic Fibers Using a FT-IR Spectroscopy Approach. *Molecules*, 27(13), 4281. <https://doi.org/10.3390/molecules27134281>
- Ayub, A. Md., Syed, F. R., & Peng, H. (2025). Breaking barriers: The admissibility of forensic evidence in US courts and the struggles with cutting-edge science. *Science & Justice*, 65(6), 101355. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2025.101355>

- Baldino, G., Mondello, C., Sapienza, D., Stassi, C., Asmundo, A., Gualniera, P., Vanin, S., & Ventura Spagnolo, E. (2023). Multidisciplinary Forensic Approach in “Complex” Bodies: Systematic Review and Procedural Proposal. *Diagnostics*, 13(2), 310. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13020310>
- Bebeshko, G. I., Novoseletsky, I. N., Omel'yanyuk, G. G., Usov, A. I., & Fedotov, S. V. (2024). Application of Mathematical Statistics Methods in Assessing the Reliability of Forensic Testing Techniques. *Inorganic Materials: Applied Research*, 15(6), 1663-1670. <https://doi.org/10.1134/S2075113325700029>
- Bell, S. (2022). *Forensic Chemistry* (3.<sup>a</sup> ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group. <https://www.perlego.com/book/3286530/forensic-chemistry-pdf>
- Chango, X., Flor-Unda, O., Gil-Jiménez, P., & Gómez-Moreno, H. (2024). Technology in Forensic Sciences: Innovation and Precision. *Technologies*, 12(8), 120. <https://doi.org/10.3390/technologies12080120>
- De Campos, E. G., Da Costa, B. R. B., Dos Santos, F. S., Monedeiro, F., Alves, M. N. R., Santos Junior, W. J. R., & De Martinis, B. S. (2022). Alternative matrices in forensic toxicology: A critical review. *Forensic Toxicology*, 40(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11419-021-00596-5>
- Delgado, Y., Price, B. S., Speaker, P. J., & Stoiloff, S. L. (2021). Forensic intelligence: Data analytics as the bridge between forensic science

and investigation. *Forensic Science International: Synergy*, 3, 100162. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2021.100162>

Devlin, C., Morelato, M., & Baechler, S. (2024). Forensic intelligence: Expanding the potential of forensic document examination. *WIREs Forensic Science*, 6(5), e1528. <https://doi.org/10.1002/wfs2.1528>

Ferrero, A., & Scotti, V. (2022). *Forensic Metrology: An Introduction to the Fundamentals of Metrology for Judges, Lawyers and Forensic Scientists*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-14619-0>

Gibb, C., & Riemen, J. (2023). Toward better AFIS practice and process in the forensic fingerprint environment. *Forensic Science International: Synergy*, 7, 100336. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2023.100336>

Giorgetti, A., Pascali, J., Fais, P., Pelletti, G., Gabbin, A., Franchetti, G., Cecchetto, G., & Viel, G. (2021). Molecular Mechanisms of Action of Novel Psychoactive Substances (NPS). A New Threat for Young Drug Users with Forensic-Toxicological Implications. *Life*, 11(5), 440. <https://doi.org/10.3390/life11050440>

Girod-Frais, A., & Bécue, A. (2021). Past, Present, and Future of the Forensic Use of Fingermarks. En J. De Alcaraz-Fossoul (Ed.), *Technologies for Fingerprint Age Estimations: A Step Forward* (pp. 1-33). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-69337-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69337-4_1)

Gomes, F. M., De Pereira, C. M. P., De Cássia Mariotti, K., Magaiver Pereira, T., Dos Santos, N. A., & Romão, W. (2023). Study of latent fingerprints

– A review. *Forensic Chemistry*, 35, 100525.  
<https://doi.org/10.1016/j.forc.2023.100525>

Harshey, A., Das, T., Mishra, V., Shukla, R. K., & Srivastava, A. (2023). Essentials of Forensic Physics. En P. Shrivastava, J. A. Lorente, A. Srivastava, A. Badiye, & N. Kapoor (Eds.), *Textbook of Forensic Science* (pp. 377-423). Springer Nature Singapore.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-99-1377-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-99-1377-0_14)

He, T., Song, B., & Fu, J. (2025). Molecular biology research progress in post-mortem interval (PMI) estimation in forensic medicine. *International Journal of Legal Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s00414-025-03625-9>

Holman, A. P., Maalouf, A., & Kurouski, D. (2025). DyeSPY: Establishing the First Forensic SERS Reference for Hair Dye Colorant Evidence. *Analytical Chemistry*, [acs.analchem.5c05023](https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5c05023).  
<https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5c05023>

Ikbal, A. M. A., Debnath, R., Thomas, S., Chattopadhyay, D., & Palit, P. (2024). Forensic Drug Chemistry: Unravelling Evidence Through Scientific Analysis. En S. Bose, A. C. Shukla, M. R. Baig, & S. Banerjee (Eds.), *Concepts in Pharmaceutical Biotechnology and Drug Development* (pp. 319-361). Springer Nature Singapore.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-97-1148-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-97-1148-2_16)

Jiang, J., Xia, Q.-Y., Xu, S.-Y., Zhao, F.-Q., & Ju, X.-H. (2024). Evaluating shock sensitivity and decomposition of energetic materials by ReaxFF

molecular dynamics. *Journal of Materials Science*, 59(1), 114-129.  
<https://doi.org/10.1007/s10853-023-09179-8>

Kapoor, N., Kamble, A., & Badiye, A. (2023). Forensic Podiatry: An Introduction. En P. Shrivastava, J. A. Lorente, A. Srivastava, A. Badiye, & N. Kapoor (Eds.), *Textbook of Forensic Science* (pp. 295-310). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-1377-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-99-1377-0_10)

Kumat, D. (2025). Spectroscopic Techniques in Chemical Analysis: A Review of Emerging Trends. *Indian Journal of Pharmaceutical Chemistry and Analytical Techniques*, 1(3), 55-70.  
<https://doi.org/10.64062/IJPCAT.Vol1.Issue3.5>

Kuwayama, K., Miyaguchi, H., Kanamori, T., Tsujikawa, K., Yamamuro, T., Segawa, H., Okada, Y., & Iwata, Y. T. (2022). Micro-segmental hair analysis: Detailed procedures and applications in forensic toxicology. *Forensic Toxicology*, 40(2), 215-233. <https://doi.org/10.1007/s11419-022-00619-9>

Lepot, L., Vanhouche, M., Vanden Driessche, T., & Lunstroot, K. (2023). Interpol review of fibres and textiles 2019-2022. *Forensic Science International: Synergy*, 6, 100307.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2022.100307>

Li, S., Hu, Z., Shao, Y., Zhang, G., Wang, Z., Guo, Y., Wang, Y., Cui, W., Wang, Y., & Ren, L. (2024). Influence of Drugs and Toxins on Decomposition Dynamics: Forensic Implications. *Molecules*, 29(22), 5221. <https://doi.org/10.3390/molecules29225221>

Low, Y., Tyrrell, E., Gillespie, E., & Quigley, C. (2023). Review: Recent advancements and moving trends in chemical analysis of fire debris. *Forensic Science International*, 345, 111623. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111623>

Mehltretter, A., Prusinowski, M., Arkes, H., Flohr, D., Neumann, C., Ryland, S., Sirk, D., & Trejos, T. (2023). Interpretation and report writing in forensic comparisons of paint evidence: An interlaboratory exercise. *Forensic Chemistry*, 35, 100513. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2023.100513>

Metzinger, A., Stadler, T., & Szoldán, Z. (2025). LIBS Analysis of Forensic Trace Evidence. En G. Galbács (Ed.), *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy in Biological, Forensic and Materials Sciences* (pp. 375-412). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-85975-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-85975-5_13)

Metzinger, A., & Szoldán, Z. (2022). Analysis of Forensic Trace Evidence. En G. Galbács (Ed.), *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy in Biological, Forensic and Materials Sciences* (pp. 223-251). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14502-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14502-5_9)

Mirzanli, U., Guzel, P., & Akbay, N. (2025). Spectroscopic techniques and chemometrics for ink analysis: Document analysis application. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 326, 125167. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.125167>

Morgan, R. M. (2024). Forensic Science Innovation in the UK: Roadblocks and Enablers. En S. Francese & R. S. P. King (Eds.), *Driving Forensic*

Innovation in the 21st Century (pp. 73-88). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-56556-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-56556-4_4)

Morrison, G. S. (2022). Advancing a paradigm shift in evaluation of forensic evidence: The rise of forensic data science. *Forensic Science International: Synergy*, 5, 100270. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2022.100270>

Nteziryayo, D., Wang, J., Qian, H., Liang, M., Liu, H., Liu, X., Uwantege, K., & Joseph, P. (2024). Advancement and the existing landscape of forensic medicine in Africa: A comparison with developed countries. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 20(4), 1509-1522. <https://doi.org/10.1007/s12024-024-00789-5>

O'Malley, T., Krosch, M. N., Peacock, P., Cook, R., & Neville, D. H. (2022). Automated 'lights-out' searching of all recovered fingerprints: Review of the current workflow for latent fingerprint processing in Queensland, Australia. *Forensic Science International*, 337, 111372. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111372>

Otteman, K., Fielder, L., & Lewis, E. (Eds.). (2022). *Animal Cruelty Investigations: A Collaborative Approach from Victim to Verdict™* (1.<sup>a</sup> ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119764915>

Pragst, F. (2025). Systematic toxicological analysis in forensic and clinical laboratories: A challenging task of analytical chemistry. *ChemTexts*, 11(2), 4. <https://doi.org/10.1007/s40828-024-00197-w>

- Pringle, J. K., Jeffery, A. J., Ruffell, A., Stimpson, I. G., Pirrie, D., Bergslien, E., Madden, C., Oliver, I., Wisniewski, K. D., Cassella, J. P., Lamont, N., Gormley, S., & Partridge, J. (2022). The use of portable XRF as a forensic geoscience non-destructive trace evidence tool for environmental and criminal investigations. *Forensic Science International*, 332, 111175. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111175>
- Rani, D., Gill, N. S., Gulia, P., Yahya, M., Ahanger, T. A., Hassan, M. M., Abdallah, F. B., & Shukla, P. K. (2025). A secure digital evidence preservation system for an iot-enabled smart environment using ipfs, blockchain, and smart contracts. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 18(2), 5. <https://doi.org/10.1007/s12083-024-01855-z>
- Ricca, M., Alberghina, M. F., Randazzo, L., Schiavone, S., Donato, A., Albanese, M. P., & La Russa, M. F. (2021). A Combined Non-Destructive and Micro-Destructive Approach to Solving the Forensic Problems in the Field of Cultural Heritage: Two Case Studies. *Applied Sciences*, 11(15), 6951. <https://doi.org/10.3390/app11156951>
- Ristivojević, P., Otašević, B., Todorović, P., & Radosavljević-Stevanović, N. (2025). Forensic Narcotics Drug Analysis: State-of-the-Art Developments and Future Trends. *Processes*, 13(8), 2371. <https://doi.org/10.3390/pr13082371>
- Rivaldería, N., Moreno-Piedra, A., Álvarez, A., & Gutiérrez-Redomero, E. (2024). Study of the fingerprints of a Spanish sample for the

- determination of the hand and finger. *Science & Justice*, 64(2), 216-231.  
<https://doi.org/10.1016/j.scijus.2024.01.005>
- Serol, M., Ahmad, S. M., Quintas, A., & Família, C. (2023). Chemical Analysis of Gunpowder and Gunshot Residues. *Molecules*, 28(14), 5550. <https://doi.org/10.3390/molecules28145550>
- Sharma, S., Kapoor, N., Badiye, A., Rai, S., & Yadav, P. K. (2025). Chemometrics in Forensic Science: An Overview. En A. Badiye (Ed.), *Advances in Forensic Science: Emerging Technologies and Techniques* (pp. 201-238). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-96-8971-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-96-8971-2_9)
- Sijen, T., & Harbison, S. (2021). On the Identification of Body Fluids and Tissues: A Crucial Link in the Investigation and Solution of Crime. *Genes*, 12(11), 1728. <https://doi.org/10.3390/genes12111728>
- Sosa-Reyes, A. M., Villavicencio-Queijeiro, A., & Suzuri-Hernández, L. J. (2022). Interdisciplinary approaches to the teaching of forensic science in the Forensic Science Undergraduate Program of the National Autonomous University of Mexico, before and after COVID-19. *Science & Justice*, 62(6), 676-690. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2022.08.006>
- Taus, F., Pigaiani, N., Bortolotti, F., Mazzoleni, G., Brevi, M., Tagliaro, F., & Gottardo, R. (2021). Direct and specific analysis of nitrite and nitrate in biological and non-biological samples by capillary ion analysis for the rapid identification of fatal intoxications with sodium nitrite. *Forensic*

Science International, 325, 110855.  
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110855>

Vaishnavi, M. A., Venu, M., Kohli, R. K., & Puri, P. (2024). Microscopic Techniques and Their Application in Forensic Science. En P. Chhabra, D. B. Tripathy, A. Gupta, R. Kumar, K. Bhati, & S. Shukla (Eds.), *Advances in Analytical Techniques for Forensic Investigation* (1.<sup>a</sup> ed., pp. 307-338). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781394167340.ch11>

Woodman, P. A., Spiranovic, C., Julian, R., Ballantyne, K. N., & Kelty, S. F. (2020). The impact of chemical trace evidence on justice outcomes: Exploring the additive value of forensic science disciplines. *Forensic Science International*, 307, 110121. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.110121>

Wüllenweber, S., & Giles, S. (2021). The effectiveness of forensic evidence in the investigation of volume crime scenes. *Science & Justice*, 61(5), 542-554. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.06.008>



**Química Forense**, se publicó en el mes de diciembre de 2025.

**ISBN: 978-9907-0-0589-9**

**Grupo Editorial BLR**  
**Ecuador**  
**Cel: +593 98 320 4362**  
**[https://grupobl.com/](https://grupobl.com/publicaciones@grupobl.com)**  
**[publicaciones@grupobl.com](mailto:publicaciones@grupobl.com)**

## BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

---

### **Jorge Alexander Briceño Carrasquel:**

Jorge Alexander Briceño Carrasquel es un químico por la Universidad de Carabobo en 1998. Obtuvo su PhD en Química Analítica en la Universidad de Zaragoza en 2010. Es investigador acreditado por SENESCYT (REGINV-18-03579) y docente en la Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador.

### **Michael Xavier Hachi Pazmiño:**

Ingeniero en Biotecnología Ambiental por la ESPOCH, con maestrías en Ingeniería Ambiental (UNINI, México) y en Gestión y Auditorías Ambientales (UNIB). Su formación integra fundamentos de química ambiental, análisis instrumental y control de calidad.

# QUÍMICA FORENSE

---

**Estimado lector,** desde una perspectiva técnica, el documento profundiza en el proceso analítico que transforma un vestigio material en una evidencia científica robusta. Este proceso se divide en fases preanalítica, analítica y postanalítica, donde la selección de técnicas depende de la capacidad identificativa requerida, empleando desde microscopía óptica para observaciones iniciales hasta espectrometría de masas y cromatografía para la identificación precisa de compuestos orgánicos complejos. La exactitud y la trazabilidad se erigen como pilares de la calidad, asegurando que cada resultado sea reproducible y rastreable desde su origen, minimizando así la incertidumbre inherente a los análisis químicos.

El texto también destaca la incorporación de herramientas modernas como la quimiometría para el tratamiento estadístico de datos y la inteligencia artificial para la identificación de patrones y automatización de procesos. Estas innovaciones permiten abordar con mayor eficiencia casos complejos relacionados con incendios, explosivos y documentos cuestionados, donde se busca determinar la autenticidad de tintas o la composición de sustancias acelerantes mediante métodos no destructivos. En conclusión, el enfoque propuesto no solo busca la precisión técnica, sino también la integración de la inteligencia forense para anticipar actividades delictivas y fortalecer la administración de justicia basada en ciencia sólida.

Agradecemos a todos los lectores que se acercan a esta obra con ánimo de aprender, aplicar y transformar.



**GRUPO BLR**

**UEB**

**UNIVERSIDAD  
ESTATAL DE BOLIVAR**

**Grupo Editorial BLR  
Ecuador**

**Cel: +593 98 320 4362**

**<https://grupobl.com/>**

**[publicaciones@grupobl.com](mailto:publicaciones@grupobl.com)**

ISBN: 978-9907-0-0589-9



9 789907 005899