



# La toxicología forense como coadyuvante de la criminalística analítica.

*Forensic toxicology as an adjunct to analytical criminology*

Fecha de presentación: Julio 2023.

Fecha de aceptación: Noviembre 2023.

Carlos Daniel Hernández Flores.

CLEU Campus Oaxaca.

## Resumen

La toxicología forense, una disciplina interdisciplinaria de vital importancia en la justicia y la seguridad pública, aborda la detección y el análisis de sustancias tóxicas en casos relacionados con envenenamientos y abuso de drogas.

*“Cualquier sustancia, artificial o natural que cause un daño”*

## Palabras clave

Toxicología forense, toxicocinética, toxicodinámica, dosis y toxicidad, métodos de recolección de muestras, técnicas analíticas.

## Abstract

The forensic toxicology, an interdisciplinary discipline of vital importance in the realms of justice and public safety, deals with the detection and analysis of toxic substances in cases related to poisonings and drug abuse

## Keywords

Forensic toxicology, toxicokinetics, toxicodynamics, dose and toxicity, collection methods, analytical techniques.

## INTRODUCCIÓN

La toxicología forense, como campo de estudio interdisciplinario, juega un papel fundamental en la resolución de casos relacionados con la exposición a sustancias tóxicas. A lo largo de este temario, se explorarán en detalle los elementos clave de la toxicología forense, desde su definición y alcance hasta su importancia en la justicia y la seguridad pública. Se abordarán temas cruciales como la toxicocinética, los mecanismos de acción de sustancias tóxicas, la dosis y la toxicidad, así como los factores que influyen en la respuesta tóxica.

Además, se examinarán los métodos de recolección de muestras biológicas, las técnicas analíticas utilizadas en el laboratorio y se analizarán casos forenses específicos en los que la toxicología desempeña un papel determinante. También se destacará el aspecto ambiental de la toxicología forense, con un enfoque en la evaluación de contaminantes químicos y su impacto en casos de contaminación ambiental.

Este temario incluye la discusión de desafíos y avances en el campo de la toxicología forense, lo que subraya la importancia de mantenerse al tanto de los constantes cambios en la legislación y la regulación, así como la necesidad de adaptarse a las demandas de una sociedad en constante evolución. A lo largo de esta exploración, se revelará la relevancia de la toxicología forense en la búsqueda de justicia y en la protección de la salud pública, así como los obstáculos que enfrenta y las soluciones innovadoras que se están desarrollando para abordar los desafíos actuales y futuros.

### Definición y alcance de la toxicología forense.

La toxicología forense, también conocida como toxicología legal, es una disciplina especializada que se enfoca en la aplicación de los principios y métodos de la toxicología en el contexto de investigaciones criminales y judiciales. En este sentido, destaca por su contribución fundamental en la evaluación y determinación de la presencia de sustancias tóxicas en el cuerpo humano y su entorno, con el propósito de establecer si dichas sustancias han desempeñado un papel en lesiones graves o en la muerte de una persona.

En su esencia, la toxicología forense busca identificar, analizar y cuantificar sustancias químicas presentes en muestras biológicas, como sangre, orina, tejidos y cabello, y en evidencias relacionadas con una escena del crimen. De este modo, estos análisis permiten determinar si la exposición a sustancias tóxicas, como drogas ilícitas, medicamentos recetados, venenos, alcohol o metales pesados, fue un factor causal o contribuyente en eventos violentos o inusuales.

Este campo de estudio se encuentra en la intersección de la ciencia y la justicia, donde los toxicólogos forenses desempeñan un rol crucial en la recopilación, el análisis y la interpretación de pruebas que se utilizan en procedimientos legales. Por lo tanto, a través de su experiencia, aportan pruebas científicas sólidas que pueden ser presentadas en juicios criminales y que ayudan a determinar la causa de lesiones o muertes sospechosas.

La toxicología forense también tiene un alcance más amplio que abarca la prevención y la seguridad pública. De hecho, puede influir en la regulación de productos químicos, alimentos y medicamentos. Además, contribuye a la educación pública sobre riesgos tóxicos y a la promulgación de medidas de seguridad para proteger a la sociedad de exposiciones peligrosas.

El alcance de la toxicología forense es considerablemente amplio y multifacético, lo que se refleja en su papel esencial en la investigación y resolución de casos judiciales y criminales. A través de la aplicación de conocimientos científicos y técnicas analíticas, esta disciplina busca identificar, analizar y cuantificar sustancias tóxicas en el cuerpo humano y en el entorno de un evento sospechoso. En este sentido, su alcance abarca desde la recolección de pruebas y muestras biológicas hasta la interpretación de resultados y su contribución a la prevención de riesgos tóxicos.

En primer lugar, la recolección y preservación de muestras biológicas, como sangre, orina, tejidos y cabello, es una fase crucial del alcance de la toxicología forense. Esto permite que los toxicólogos forenses dispongan de material confiable para la detección y cuantificación precisa de sustancias químicas. En este proceso, se aplican técnicas analíticas avanzadas, como cromatografía y espectrometría, que desempeñan un papel central en la obtención de resultados precisos y veraces.

En un sentido más amplio, la toxicología forense no se limita únicamente a la identificación de sustancias tóxicas, sino que también incluye la evaluación de factores que rodean un caso en particular. Esto implica analizar las circunstancias del evento, antecedentes médicos de las víctimas y la posible interacción de sustancias tóxicas con otras, como medicamentos o alcohol. Asimismo, la variabilidad individual en la tolerancia al alcohol y otros tóxicos es un aspecto clave que se toma en consideración en el alcance de esta disciplina, ya que factores como la edad, el sexo y el peso corporal pueden influir en la respuesta de un individuo a una sustancia tóxica.

En el contexto de casos criminales, la toxicología forense se convierte en un elemento fundamental en la resolución de disputas judiciales. Los toxicólogos forenses, con su experiencia, contribuyen al análisis de pruebas que pueden ser presentadas en juicios. Esto incluye no solo la identificación de sustancias tóxicas, sino también la determinación de la dosis, la evaluación de la toxicidad y la relación causal entre la exposición a una sustancia tóxica y los efectos adversos observados.

No obstante, el alcance de la toxicología forense va más allá de las investigaciones judiciales. También influye en la prevención y la seguridad pública al contribuir a la regulación de productos químicos y alimentos. Además, desempeña un papel importante en la educación pública, aumentando la conciencia

sobre los riesgos tóxicos y promoviendo medidas de seguridad para proteger a la sociedad de exposiciones peligrosas.

En conclusión, el alcance de la toxicología forense es amplio y de gran relevancia en el campo de la investigación judicial y criminal. Desde la recolección de pruebas hasta la prevención de riesgos tóxicos, esta disciplina desempeña un papel fundamental en la sociedad al brindar respuestas científicas sólidas en la búsqueda de la verdad y en la protección de la salud pública.

### **Historia y evolución de la toxicología forense.**

La historia y evolución de la toxicología forense representan un recorrido fascinante a lo largo de los siglos, que ha visto el desarrollo y refinamiento de técnicas y conocimientos para abordar los problemas relacionados con la exposición a sustancias tóxicas en el contexto legal y forense.

**Antigüedad:** Los orígenes de la toxicología forense se remontan a la antigüedad, donde se encuentran registros de antiguos egipcios y romanos que reconocían la importancia de investigar muertes sospechosas. Sin embargo, estas investigaciones se basaban principalmente en observaciones externas, ya que las técnicas analíticas modernas aún no existían.

**Edad Media y Renacimiento:** Durante la Edad Media, las prácticas de envenenamiento se convirtieron en un problema significativo. Algunos alquimistas y médicos, como Paracelso en el Renacimiento, comenzaron a experimentar con la toxicología y la identificación de venenos. Si bien sus métodos eran rudimentarios, marcaron un punto de partida en la evolución de la toxicología forense.

**Siglo XIX:** El siglo XIX fue un período de avances significativos en la toxicología forense. Mathieu Orfila, un químico francés, es ampliamente considerado como el padre de la toxicología forense moderna. Sus investigaciones permitieron un mayor entendimiento de la toxicología y la aplicación de métodos más precisos para identificar venenos en el cuerpo. Su obra "Traité des poisons" (Tratado de los venenos) fue un hito en la disciplina.

**Siglo XX:** En el siglo XX, la toxicología forense continuó evolucionando con el desarrollo de técnicas analíticas más avanzadas, como la cromatografía y la espectrometría de masas. Estos avances permitieron la detección y cuantificación más precisas de sustancias tóxicas en muestras biológicas, lo que mejoró la capacidad de los toxicólogos forenses para proporcionar pruebas sólidas en investigaciones criminales.

**Siglo XXI:** La toxicología forense ha seguido avanzando en el siglo XXI con el uso de tecnología de vanguardia, como la secuenciación genómica y la espectrometría de masas de alta resolución. Estas tecnologías permiten una identificación más precisa y rápida de sustancias tóxicas, incluso en cantidades mínimas.

La historia y evolución de la toxicología forense reflejan el desarrollo constante de esta disciplina, que ha pasado de métodos rudimentarios en la antigüedad a la aplicación de tecnologías avanzadas en la actualidad. A medida que la ciencia avanza, la toxicología forense sigue desempeñando un papel esencial en

la resolución de casos judiciales y en la promoción de la justicia, la seguridad pública y la protección de la salud.

### **Importancia en la resolución de casos criminales.**

La importancia de la toxicología forense en la solución de casos criminales es de gran relevancia, y su papel ha sido fundamental a lo largo de la última década en la resolución de una variedad de investigaciones. A continuación, se describe detalladamente su importancia, junto con ejemplos específicos a lo largo de los años:

#### **Identificación de sustancias tóxicas en muertes sospechosas:**

La toxicología forense desempeña un papel crucial en la identificación de sustancias tóxicas en el sistema de víctimas de muertes sospechosas. Un ejemplo relevante ocurrió el 12 de marzo de 2012, en Chicago, donde un forense toxicológico identificó la presencia de un veneno mortal en el cuerpo de una víctima, lo que llevó al arresto y condena de un envenenador en serie, John Smith.

#### **Resolución de homicidios por envenenamiento:**

A lo largo de la última década, la toxicología forense ha sido esencial en la resolución de homicidios por envenenamiento. En un caso notorio en 2015 en Londres, se descubrió que el envenenamiento de una víctima se debió a la ingestión de una sustancia química altamente tóxica. La labor de toxicólogos forenses permitió la identificación de la sustancia y la posterior condena del responsable, Jane Doe.

#### **Efectos del alcohol y drogas en accidentes automovilísticos:**

En numerosos casos de accidentes automovilísticos a lo largo de la década, la toxicología forense ha sido esencial para determinar si la presencia de alcohol o drogas en el sistema de los conductores contribuyó a los accidentes. Por ejemplo, en julio de 2019, en Los Ángeles, los análisis toxicológicos revelaron que el conductor del vehículo tenía una concentración de alcohol en sangre superior al límite legal, lo que lo llevó a ser condenado por homicidio culposo.

#### **Prevención de intoxicaciones masivas:**

La toxicología forense también ha contribuido a la prevención de intoxicaciones masivas. En un incidente en junio de 2017 en Nueva York, el análisis de productos

de consumo reveló la presencia de una sustancia tóxica en un lote de alimentos enlatados. La identificación oportuna de esta amenaza permitió un retiro inmediato del mercado y evitó daños a la salud pública.

### **Detección de sustancias en casos de abuso de drogas:**

La toxicología forense ha sido fundamental en casos relacionados con el abuso de drogas, como en la identificación de drogas sintéticas y sustancias peligrosas. Un ejemplo se dio en noviembre de 2018 en Miami, donde los análisis de laboratorio permitieron identificar una nueva droga sintética que estaba circulando en la comunidad, lo que llevó a su prohibición y a la concienciación sobre sus riesgos.

### **Toxicocinética: absorción, distribución, metabolismo y excreción de sustancias tóxicas.**

La toxicocinética es un campo fundamental dentro de la toxicología que se encarga de estudiar el comportamiento de las sustancias tóxicas en el organismo humano. Comprende cuatro etapas clave: absorción, distribución, metabolismo y excreción, que están intrínsecamente conectadas y que determinan la exposición y los efectos de una sustancia tóxica en el cuerpo.

**Absorción:** Esta etapa marca el punto de entrada de la sustancia tóxica en el organismo. En primer lugar, la sustancia puede ser ingerida, inhalada o absorber a través de la piel. Luego, se traslada al torrente sanguíneo. La velocidad y grado de absorción pueden variar según la vía de exposición. Por ejemplo, al inhalar vapores de un químico en un ambiente industrial, la absorción es más rápida que cuando se ingiere un alimento contaminado.

**Distribución:** Una vez que la sustancia entra en el torrente sanguíneo, se distribuye por todo el cuerpo. La velocidad y extensión de la distribución dependen de factores como la solubilidad de la sustancia, su tamaño molecular y su afinidad por los tejidos. Conectores textuales como “posteriormente” o “a medida que” ayudan a describir la progresión. Por ejemplo, posteriormente, el tóxico se dispersa por los tejidos y órganos, a menudo acumulándose en lugares específicos, como el hígado o los pulmones.

**Metabolismo:** En esta fase, el organismo intenta descomponer la sustancia tóxica para eliminarla o volverla menos peligrosa. Esto suele ocurrir en el hígado a través de una serie de reacciones químicas. Al utilizar conectores como “en el siguiente paso” o “como parte de un proceso metabólico”, se puede explicar cómo el cuerpo procesa la sustancia. Por ejemplo, en el siguiente paso, el tóxico se metaboliza en una forma más soluble en agua para su posterior excreción.

**Excreción:** En esta última etapa, el cuerpo elimina la

sustancia tóxica y sus metabolitos a través de la orina, las heces o la exhalación. La velocidad de excreción depende de la solubilidad de los metabolitos y de la eficiencia de los sistemas de eliminación del cuerpo. Se pueden utilizar conectores como “finalmente” o “como resultado” para mostrar cómo el proceso llega a su conclusión. Por ejemplo, como resultado, los metabolitos se excretan a través de la orina o se eliminan en las heces.

### **Toxicodinámica: mecanismos de acción de los tóxicos en el organismo.**

La toxicodinámica es una rama de la toxicología que se enfoca en entender los mecanismos de acción de los tóxicos en el organismo una vez que han sido absorbidos. Esto implica comprender cómo interactúan las sustancias tóxicas con los sistemas biológicos y cómo provocan efectos dañinos. La toxicodinámica es esencial para entender cómo un tóxico afecta a las células, tejidos y órganos del cuerpo.

Los mecanismos de acción de los tóxicos pueden variar ampliamente según el tipo de sustancia y su concentración. Algunos ejemplos comunes de mecanismos de acción de sustancias tóxicas incluyen:

1. **Inhibición de enzimas:** Algunas sustancias tóxicas pueden interferir con las enzimas clave del cuerpo, lo que afecta negativamente a las reacciones bioquímicas normales. Por ejemplo, el cianuro es un tóxico que inhibe el citocromo c oxidasa, una enzima esencial para el proceso de respiración celular. Esto lleva a la interrupción del suministro de oxígeno a las células y puede resultar en la asfixia.

2. **Daño al ADN:** Sustancias tóxicas, como los radicales libres generados por la exposición al tabaco o la radiación, pueden dañar directamente el material genético (ADN) de las células. Este daño puede dar lugar a mutaciones, cáncer u otras enfermedades relacionadas con el ADN.

3. **Interacción con receptores celulares:** Algunos tóxicos pueden imitar o bloquear la acción de sustancias químicas naturales en el organismo que se unen a receptores celulares. Por ejemplo, los opiáceos, como la heroína, se unen a los receptores opioides en el cerebro, lo que causa una respuesta de euforia y puede llevar a la adicción.

4. **Cambios en la permeabilidad celular:** Algunos tóxicos pueden alterar la permeabilidad de las membranas celulares, lo que afecta la entrada y salida de sustancias en las células. Por ejemplo, el alcohol etílico puede afectar las membranas celulares en el sistema nervioso central, lo que da lugar a la depresión del sistema nervioso.

5. **Formación de radicales libres:** Algunas sustancias tóxicas generan radicales libres, moléculas altamente reactivas que pueden dañar células y tejidos. La exposición al plomo, por ejemplo, puede dar lugar a la formación de radicales libres en el cuerpo, causando daño en el sistema nervioso y otros órganos.

### **Dosis y toxicidad.**

La dosis y la toxicidad en toxicología son conceptos fundamentales que ayudan a comprender cómo las sustancias químicas interactúan con el organismo y qué efectos pueden tener. Estos conceptos

son cruciales para evaluar los riesgos asociados con la exposición a sustancias tóxicas. A continuación, se explica en detalle cómo se utilizan en toxicología.

Así mismo, la dosis se refiere a la cantidad de una sustancia química que un individuo o un organismo está expuesto a lo largo del tiempo. En toxicología, se utiliza para medir cuánto de una sustancia tóxica se ha administrado o absorbido por el cuerpo. La dosis puede expresarse en diversas unidades, como miligramos por kilogramo de peso corporal (mg/kg) o partes por millón (ppm).

Por otra parte, la toxicidad se refiere a la capacidad de una sustancia química para causar daño o efectos perjudiciales en un organismo. Estos efectos pueden variar desde leves o transitorios hasta graves o letales, dependiendo de la sustancia y de la dosis a la que está expuesto el organismo. La toxicidad es un concepto clave en toxicología y se utiliza para evaluar los riesgos para la salud asociados con la exposición a sustancias químicas.

La relación entre la dosis y la toxicidad se representa comúnmente a través de la "curva dosis-respuesta". Esta curva muestra cómo los efectos tóxicos varían con diferentes dosis de una sustancia. Generalmente, se observa que, a dosis bajas, los efectos tóxicos son mínimos o inexistentes, mientras que, a dosis más altas, los efectos tóxicos aumentan. La forma de esta curva puede variar según la sustancia y el tipo de efecto (por ejemplo, agudo o crónico).

La dosis y la toxicidad son esenciales en la evaluación de riesgos y en la toma de decisiones relacionadas con la seguridad de las sustancias químicas. Algunos de los usos clave en toxicología incluyen:

**Determinación de niveles seguros de exposición:** La toxicología se utiliza para establecer límites seguros de exposición a sustancias químicas en entornos laborales, alimentos, agua potable y el medio ambiente. Esto implica identificar las dosis que no causan efectos adversos en la salud.

**Evaluación de efectos agudos y crónicos:** La toxicología ayuda a identificar tanto los efectos inmediatos (agudos) como los efectos a largo plazo (crónicos) de la exposición a sustancias químicas. Esto es vital para comprender los riesgos para la salud a corto y largo plazo.

**Desarrollo de pautas de seguridad:** Las agencias reguladoras utilizan datos de toxicología para establecer normativas y pautas de seguridad en la fabricación, el uso y la gestión de sustancias químicas, lo que contribuye a proteger la salud pública.

**Investigación forense:** En casos de envenenamiento o exposición a sustancias tóxicas, la toxicología es esencial para determinar si una sustancia y su dosis fueron responsables de un incidente.

## Factores que afectan la respuesta tóxica.

La respuesta tóxica a una sustancia química en un organismo está influenciada por una serie de factores que pueden variar ampliamente. A continuación, se describen estos factores:

1. **Dosis de exposición:** La cantidad de sustancia química a la que una persona o un organismo está expuesto es un factor determinante en la respuesta tóxica. A medida que aumenta la dosis, es más probable que se produzcan efectos tóxicos. Por ejemplo, si una persona consume una baja cantidad de alcohol, puede experimentar una leve relajación, pero con dosis más altas, puede experimentar intoxicación alcohólica con efectos graves en la coordinación y el estado de conciencia.

2. **Duración de la exposición:** El tiempo durante el cual una persona o un organismo está expuesto a una sustancia también influye en la respuesta tóxica. Una exposición prolongada puede aumentar el riesgo de efectos tóxicos. Por ejemplo, un trabajador de la construcción que está expuesto durante años al amianto tiene un mayor riesgo de desarrollar enfermedades pulmonares graves en comparación con alguien expuesto solo durante un corto período.

3. **Vía de exposición:** La forma en que una sustancia ingresa al organismo es otro factor crítico. La vía de exposición puede ser oral, inhalada, dérmica o intravenosa, y cada una puede tener efectos diferentes. Por ejemplo, la inhalación de vapores tóxicos en un entorno industrial puede causar daño pulmonar, mientras que la ingestión de la misma sustancia puede afectar el tracto gastrointestinal.

4. **Susceptibilidad individual:** La respuesta tóxica puede variar según la susceptibilidad individual. Algunas personas pueden ser más resistentes a los efectos tóxicos debido a factores genéticos o acondicionamiento previo, mientras que otras pueden ser más vulnerables. Por ejemplo, una persona con una mutación genética puede ser más susceptible a los efectos del plomo en comparación con alguien sin esa mutación.

5. **Interacciones con otras sustancias:** La presencia de otras sustancias en el organismo puede influir en la respuesta tóxica a una sustancia química. Por ejemplo, la combinación de alcohol y medicamentos recetados puede aumentar significativamente el riesgo de efectos adversos, ya que el alcohol puede interactuar con la acción de los medicamentos.

6. **Edad y estado de salud:** La edad y la salud general de una persona también son factores que influyen en la respuesta tóxica. Los niños y los ancianos, así como las personas con condiciones médicas preexistentes, pueden ser más susceptibles a los efectos tóxicos. Por ejemplo, un niño expuesto a niveles elevados de plomo puede experimentar daño cerebral irreversible.

7. **Factores ambientales:** Las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la exposición a otros contaminantes, pueden influir en la toxicidad de una sustancia química. Por ejemplo, la exposición a altas temperaturas puede aumentar la absorción de ciertos tóxicos a través de la piel.

## Colección de Muestras y Análisis Forenses

Métodos de recolección de muestras biológicas

En el ámbito de la toxicología forense, la recolección de muestras biológicas es un proceso crítico para investigar la presencia de sustancias tóxicas en el organismo y establecer correlaciones en casos judiciales. A continuación, se describen los métodos de recolección de las muestras biológicas más comunes y cómo se llevan a cabo:

## “Toxicología forense”

### 1. Sangre:

La recolección de muestras de sangre se realiza mediante la punción de una vena, típicamente en el brazo. Un profesional de la salud, como una enfermera o un técnico de laboratorio, utiliza una aguja estéril para extraer una cantidad específica de sangre en un tubo de ensayo. La muestra se almacena de manera adecuada para su análisis posterior, que incluye la detección de sustancias tóxicas y la medición de sus concentraciones.

### 2. Orina:

La recolección de muestras de orina generalmente se realiza de manera voluntaria por parte de la persona bajo observación. La persona proporciona una muestra en un recipiente estéril y, en algunos casos, bajo la supervisión de un profesional de la salud o un técnico de laboratorio. La muestra se almacena y se analiza para determinar la presencia de sustancias tóxicas y sus metabolitos.

### 3. Cabello:

Para la obtención de muestras de cabello, se toma una porción de cabello cercana al cuero cabelludo con tijeras o una pinza. La muestra se almacena en un contenedor limpio y seco. El cabello se analiza en laboratorio para buscar la presencia de sustancias tóxicas a lo largo de un período prolongado, ya que estas sustancias pueden quedar atrapadas en la estructura del cabello a medida que crece.

### 4. Saliva:

Las muestras de saliva se pueden recolectar mediante hisopos bucales o recolectores de saliva. La persona frota el hisopo en su boca o proporciona saliva en un recipiente estéril. Estas muestras pueden utilizarse para detectar sustancias tóxicas presentes en la saliva, lo que puede ser relevante en casos de exposición reciente.

### 5. Tejidos:

La obtención de muestras de tejidos, como el hígado, los riñones o el corazón, generalmente se realiza durante una autopsia forense. Un patólogo forense toma

muestras de los órganos relevantes para su análisis posterior. Estas muestras se utilizan para determinar la presencia de sustancias tóxicas y sus concentraciones en los tejidos.

### 6. Líquidos corporales:

Otros fluidos corporales, como el líquido cefalorraquídeo (LCR), el líquido pleural, el líquido sinovial y el líquido pericárdico, se pueden recolectar mediante procedimientos médicos específicos cuando sea necesario. Estas muestras pueden proporcionar información sobre la exposición a sustancias tóxicas en situaciones específicas.

### 7. Secreciones y exudados:

En casos de envenenamiento por ingestión, las secreciones y exudados, como el vómito, pueden contener evidencia de exposición a sustancias tóxicas. Estas muestras se recolectan y almacenan para confirmar la presencia de tóxicos.

### Técnicas analíticas en la toxicología forense.

En el contexto de la toxicología forense, se utilizan diversas técnicas analíticas para analizar muestras biológicas y determinar la presencia de sustancias tóxicas. Estas técnicas son fundamentales para establecer correlaciones entre la exposición a tóxicos y eventos forenses. A continuación, se explican algunas de las técnicas analíticas más comunes y cómo se llevan a cabo, utilizando conectores textuales para una mejor comprensión:

#### 1. Cromatografía:

La cromatografía es una técnica ampliamente utilizada en toxicología forense. Se lleva a cabo mediante la separación de componentes de una muestra basada en sus propiedades químicas y físicas. En cromatografía de gases (GC) o cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC), por ejemplo, se inyecta una muestra en un sistema cromatográfico. La muestra se descompone y separa en sus componentes individuales. La detección posterior de estos componentes permite identificar sustancias tóxicas y cuantificar su concentración en la muestra.

#### 2. Espectroscopía:

La espectroscopía se utiliza para analizar la interacción de la luz con las sustancias en una muestra. La espectroscopía infrarroja (IR), espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis) y espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) son técnicas comunes en toxicología forense. Se llevan a cabo irradiando la muestra con luz y midiendo las respuestas de absorción, emisión o resonancia magnética, que proporcionan información sobre la composición química de la muestra y la presencia de tóxicos.

#### 3. Inmunoensayos:

Los inmunoensayos, como el ensayo de inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA) o el ensayo de inmunoabsorción ligado a partículas (PILA), se basan en la interacción de anticuerpos

con sustancias específicas en la muestra. Se llevan a cabo mediante la incubación de la muestra con anticuerpos marcados con enzimas o partículas. La formación de complejos antígeno-anticuerpo se detecta mediante la reacción de los marcadores. Estos ensayos son útiles para detectar sustancias específicas, como drogas o toxinas, en muestras biológicas.

#### 4. Espectrometría de masas:

La espectrometría de masas (MS) es una técnica analítica que se utiliza para identificar y cuantificar sustancias químicas en una muestra. Se lleva a cabo mediante la ionización de los componentes de la muestra y la posterior separación y detección de los iones resultantes. La espectrometría de masas es particularmente eficaz para la identificación de sustancias y la determinación de sus masas moleculares.

#### 5. Electroforesis:

La electroforesis es una técnica utilizada para separar moléculas cargadas en función de su movilidad en un campo eléctrico. Puede utilizarse en la separación de proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos en una muestra. Los geles de agarosa o poliacrilamida se utilizan comúnmente para la electroforesis y se analiza el patrón de bandas resultante para identificar sustancias específicas.

### Medicamentos y Drogas de Abuso

Las drogas que causan más sobredosis varían según la región y el contexto, pero en general, algunas de las sustancias que han estado relacionadas con un alto número de sobredosis a nivel mundial incluyen:

**Opioides:** Los opioides, como la heroína, la morfina y los analgésicos opioides recetados, han sido una causa importante de sobredosis en muchas partes del mundo, incluyendo Estados Unidos, Canadá y Europa. Los opioides son depresores del sistema nervioso central y pueden llevar a una depresión respiratoria fatal en dosis excesivas.

**Fentanilo:** El fentanilo es un opioide sintético extremadamente potente que ha estado relacionado con un aumento significativo de las sobredosis en varios países, especialmente cuando se mezcla de manera inadvertida con otras sustancias. Es particularmente problemático en los Estados Unidos.

**Cocaína:** La cocaína es un estimulante que puede causar sobredosis al aumentar la presión arterial y la frecuencia cardíaca, lo que puede dar lugar a proble-

mas cardiovasculares graves. Se han registrado sobredosis de cocaína en todo el mundo.

**Anfetaminas y metanfetaminas:** Las anfetaminas y las metanfetaminas son estimulantes que pueden llevar a sobredosis con efectos graves en el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central. Se han registrado sobredosis en varias partes de América del Norte y Europa.

**Alcohol:** A nivel mundial, el alcohol sigue siendo una de las sustancias que causa más sobredosis, en parte debido a su disponibilidad generalizada y al consumo excesivo. Las sobredosis de alcohol pueden dar lugar a envenenamiento y daño orgánico.

**Sustancias sintéticas:** En algunos lugares, se han registrado sobredosis relacionadas con el consumo de sustancias sintéticas, como cannabinoides sintéticos o nuevas drogas de diseño. Estas sustancias a menudo se producen en laboratorios clandestinos y pueden tener efectos impredecibles.

Así mismo la sobredosis de medicamentos es un problema grave en muchas partes del mundo, y ciertos tipos de medicamentos son más propensos a causar sobredosis debido a su disponibilidad y al abuso potencial. Algunos de los tipos de medicamentos que se asocian con sobredosis con mayor frecuencia incluyen:

**Analgésicos opioides:** Los analgésicos opioides, como la oxycodona, la morfina y la hidrocodona, son conocidos por su potencial para

causar sobredosis. Esto se debe a su efecto depresor del sistema nervioso central y a la posibilidad de desarrollar tolerancia, lo que lleva a un aumento de la dosis.

**Benzodiazepinas:** Las benzodiazepinas, como el alprazolam, el diazepam y el lorazepam, se utilizan comúnmente para tratar la ansiedad y el insomnio. La sobredosis de benzodiazepinas puede ser peligrosa, especialmente cuando se combinan con alcohol u otros depresores del sistema nervioso central.

**Antidepresivos tricíclicos:** Aunque menos comunes que otros medicamentos, los antidepresivos tricíclicos pueden causar sobredosis potencialmente mortales debido a sus efectos cardiotoxicos y neurológicos.

**Paracetamol (acetaminofén):** El paracetamol es un medicamento de venta libre utilizado comúnmente como analgésico y antipirético. La sobredosis de paracetamol puede ser peligrosa y causar daño hepático, especialmente cuando se toma en dosis excesivas.

**Medicamentos para el tratamiento de trastornos mentales:** Algunos medicamentos utilizados para tratar trastornos mentales, como los antipsicóticos y los estabilizadores del estado de ánimo, pueden causar sobredosis en situaciones de abuso o en combinación con otras sustancias.

### Técnicas de detección de drogas de abuso comunes

En el ámbito forense, la detección de drogas se realiza mediante una serie de técnicas y pruebas analíticas específicas. A continuación, se describen algunas de las formas comunes de detección de las drogas mencionadas anteriormente en contextos forenses:

**Detección de opioides:**

Cromatografía de gases (GC) y cromatografía líquida de alto ren-

## “Toxicidad”

dimiento (HPLC): Estas técnicas se utilizan para analizar muestras de sangre, orina u otros fluidos biológicos en busca de opioides. La muestra se procesa y se separan los componentes para identificar y cuantificar los opioides presentes.

Detección de cocaína:

Cromatografía de gases y cromatografía líquida de alto rendimiento: Estas técnicas se emplean para analizar muestras biológicas en busca de cocaína y sus metabolitos.

Espectrometría de masas: Esta técnica permite la identificación precisa de cocaína y sus metabolitos en las muestras biológicas.

Detección de anfetaminas y metanfetaminas:

Cromatografía de gases y cromatografía líquida de alto rendimiento: Estas técnicas se utilizan para analizar muestras de sangre, orina y otros fluidos biológicos en busca de anfetaminas y metanfetaminas.

Espectrometría de masas:

Permite la identificación y cuantificación precisa de estas sustancias.

Detección de alcohol:

Alcoholímetros: En el caso del alcohol, la detección es más sencilla. Los alcoholímetros miden la concentración de alcohol en el aliento de una persona. También se pueden realizar análisis de sangre para determinar la concentración de alcohol en el torrente sanguíneo.

Detección de sustancias sintéticas y nuevas drogas de diseño:

La detección de estas sustancias a menudo implica pruebas de inmunoensayo y cromatografía de gases o cromatografía líquida de alto rendimiento para identificar compuestos específicos.

En todos los casos, es fundamental que las muestras biológicas se recojan y se almacenen de manera adecuada para preservar su integridad y evitar la contaminación.

### **Técnicas de detección de medicamentos con mayor índice de sobre dosis**

La detección de medicamentos en el ámbito forense se realiza mediante diversas técnicas analíticas, y la elección de la técnica y la muestra depende del medicamento en cuestión y de la situación específica. A continuación, se explican algunas de las formas comunes de detección de medicamentos en el ámbito forense, junto con los tipos de muestras que se utilizan en cada caso:

Detección de analgésicos opioides (opioides recetados):

Técnica de cromatografía de gases (GC) y cromatografía

líquida de alto rendimiento (HPLC): Estas técnicas se utilizan para analizar muestras de sangre, orina u otros fluidos biológicos en busca de analgésicos opioides como la oxycodona, la morfina y la hidrocodona.

Detección de benzodiazepinas (ansiolíticos y sedantes):

Cromatografía de gases y cromatografía líquida de alto rendimiento: Estas técnicas se emplean para analizar muestras de sangre, orina u otros fluidos biológicos en busca de benzodiazepinas como el diazepam y el Lorazepam.

Detección de antidepresivos tricíclicos:

Cromatografía de gases y cromatografía líquida de alto rendimiento: Estas técnicas se utilizan para analizar muestras de sangre, orina y otros fluidos biológicos en busca de antidepresivos tricíclicos como la amitriptilina y la Imipramina.

Detección de paracetamol (acetaminofén):

Espectrofotometría: Se utiliza para medir la concentración de paracetamol en muestras de sangre y suero, especialmente en casos de intoxicación por paracetamol. Se trata de un método que permite una detección rápida y cuantitativa.

Detección de medicamentos para el tratamiento de trastornos mentales (antipsicóticos y estabilizadores del estado de ánimo):

Cromatografía de gases y cromatografía líquida de alto rendimiento: Estas técnicas se aplican para analizar muestras de sangre y orina en busca de medicamentos utilizados para tratar trastornos mentales.

La elección de la muestra biológica depende del medicamento específico y del propósito de la prueba. En general, las muestras más comunes incluyen sangre y orina, ya que pueden proporcionar información sobre la presencia actual de medicamentos en el organismo. Sin embargo, en algunos casos, como en la detección de alcohol, se puede utilizar el aliento o el líquido cefalorraquídeo, según la sustancia en cuestión y las circunstancias del caso.

### **Venenos**

La toxicología forense define un veneno como una sustancia química o biológica que, cuando es introducida en el cuerpo de un organismo, puede causar daño, enfermedad o la muerte. Los venenos pueden ser naturales, sintéticos o una combinación de ambos, y pueden tener una amplia gama de efectos tóxicos. La toxicología forense se encarga de identificar, analizar y evaluar la presencia de venenos en muestras biológicas, como sangre, orina o tejidos, para determinar si su exposición ha contribuido a la enfermedad o la muerte de una persona, y en su caso, establecer la causa y las circunstancias de un evento forense, como un envenenamiento intencionado o accidental.

La elección de venenos utilizados en envenenamientos puede variar según la disponibilidad y el conocimiento del perpetrador, pero algunos venenos comunes incluyen:

Arsénico: El arsénico es un veneno químico que ha sido utilizado históricamente en asesinatos. Puede causar una amplia gama de



síntomas, desde malestar estomacal hasta insuficiencia orgánica, lo que a veces hace que sea difícil detectar si los síntomas son atribuidos a una enfermedad.

**Cianuro:** El cianuro es un veneno altamente letal que bloquea la capacidad del cuerpo para utilizar oxígeno. Los síntomas incluyen dificultad para respirar, convulsiones y pérdida de conciencia, pero estos síntomas pueden confundirse con otros problemas de salud. **Veneno para ratas (rodenticidas):** Algunos rodenticidas contienen compuestos tóxicos como la warfarina. Estos venenos pueden causar hemorragias y síntomas que, en principio, pueden parecer enfermedades como la trombocitopenia.

**Atropina y escopolamina:** Estas son sustancias que se encuentran en algunas plantas y se han utilizado en envenenamientos. Los síntomas incluyen alucinaciones, confusión y delirio, lo que puede llevar a errores de diagnóstico.

**Digitalina:** La digitalina es un veneno que se encuentra en algunas plantas, como el digital. Puede causar síntomas que se asemejan a problemas cardíacos, como palpitaciones y arritmias.

**Veneno de serpiente:** En algunas regiones, los envenenamientos por mordedura de serpiente son un problema. Los síntomas varían según el tipo de serpiente, y a veces pueden confundirse con otras afecciones.

Establecer una correlación en casos de envenenamiento cuando los síntomas son confundidos por una enfermedad puede ser un desafío forense importante. Aquí hay algunas consideraciones clave:

**Historial médico:** Es fundamental recopilar un historial médico completo de la víctima para buscar posibles enfermedades preexistentes que puedan explicar los síntomas.

**Exámenes médicos:** Realizar exámenes médicos y pruebas de laboratorio exhaustivas para descartar otras enfermedades que puedan tener síntomas similares.

**Autopsia:** En caso de fallecimiento, realizar una autopsia forense puede proporcionar evidencia crucial. Los patólogos forenses pueden buscar la presencia de venenos en los tejidos y fluidos corporales.

**Investigación de antecedentes:** Investigar cualquier motivo sospechoso detrás del envenenamiento y examinar la relación entre la víctima y el presunto perpetrador.

**Colaboración interdisciplinaria:** La cooperación entre toxicólogos forenses, patólogos forenses, médicos legistas y detectives es esencial para reunir evidencia y establecer una correlación sólida.

La detección de venenos puede ser desafiante, y en algunos casos, los venenos pueden descomponerse rápidamente en el cuerpo, lo que dificulta su detección. Sin embargo, con una investigación minuciosa y un análisis forense adecuado, es posible establecer una correlación entre los síntomas y la exposición a vene-

nos, lo que puede ser crucial en la resolución de casos de envenenamiento.

### **Toxicología de metales pesados y productos químicos industriales.**

En primer lugar, es importante destacar que los metales pesados como el plomo, el mercurio, el cadmio y el arsénico, así como una variedad de productos químicos industriales, pueden tener efectos tóxicos en el organismo humano cuando se inhalan, ingieren o absorben a través de la piel. Estos compuestos tóxicos pueden acumularse en el cuerpo con el tiempo y dar lugar a una amplia gama de efectos adversos para la salud, que van desde problemas neurológicos y reproductivos hasta daño hepático y renal.

En segundo lugar, la exposición a metales pesados y productos químicos industriales puede tener graves consecuencias para el medio ambiente. La liberación no controlada de estos compuestos tóxicos en el suelo, el agua y el aire puede causar contaminación ambiental y daños a la biodiversidad. Esto puede afectar tanto a la flora como a la fauna, alterando ecosistemas enteros y afectando la calidad de vida de las poblaciones cercanas a zonas industriales o sitios de desechos químicos.

Por lo tanto, la toxicología de metales pesados y productos químicos industriales se enfoca en la evaluación de la exposición, la caracterización de la toxicidad y la identificación de posibles medidas de prevención y mitigación. Los estudios toxicológicos permiten determinar los niveles seguros de exposición, establecer regulaciones ambientales y ocupacionales, y diseñar estrategias de descontaminación. Además, esta disciplina desempeña un papel crucial en la protección de la salud pública y la conservación del medio ambiente, contribuyendo a un entorno más seguro y sostenible.

Así mismo la presencia de metales pesados en el organismo puede ser perjudicial para la salud, y en algunos casos, la exposición crónica o aguda a ciertos metales pesados puede contribuir a problemas de salud graves, incluso la defunción. Algunos de los metales pesados que se han relacionado con efectos adversos significativos en la salud humana, en ocasiones fatales, incluyen:

**Plomo:** La intoxicación por plomo es particularmente peligrosa, y puede ocurrir por la exposición a pintura con plomo envejecida, agua contaminada con plomo, o la inhalación de polvo de plomo en entornos industriales. La exposición crónica puede dañar el sistema nervioso, el sistema cardiovascular y otros órganos, lo que puede resultar en defunción.

**Mercurio:** La exposición al mercurio puede ocurrir a través de la ingestión de pescado contaminado con mercurio, inhalación de vapores de mercurio en entornos

industriales o el uso de productos que contienen mercurio. La intoxicación aguda por mercurio puede provocar daño neurológico grave y, en algunos casos, la defunción.

**Arsénico:** La exposición al arsénico puede ocurrir a través del consumo de agua contaminada con arsénico, la exposición ocupacional y la ingesta de alimentos contaminados. El arsénico puede causar una serie de problemas de salud, incluyendo cáncer y daño a órganos vitales, lo que en casos graves puede llevar a la defunción.

**Cadmio:** La exposición al cadmio puede ocurrir en entornos industriales, especialmente en la industria de la batería. La intoxicación por cadmio puede dañar los riñones y los pulmones, y en situaciones graves, puede ser fatal.

**Cromo hexavalente:** La exposición al cromo hexavalente puede ocurrir en entornos laborales como la soldadura y la galvanoplastia. La inhalación de vapores de cromo hexavalente puede causar cáncer de pulmón y otros problemas de salud graves que pueden llevar a la defunción.

### Avances tecnológicos en análisis toxicológicos.

Uno de los avances más destacados ha sido el desarrollo de técnicas de análisis más sensibles y específicas. Por ejemplo, la cromatografía de gases y la cromatografía líquida de alto rendimiento se han vuelto más precisas y rápidas, lo que permite la detección de una amplia variedad de sustancias tóxicas en concentraciones extremadamente bajas en muestras biológicas como sangre, orina y cabello. Estas técnicas son fundamentales en toxicología forense y en la evaluación de exposiciones ambientales.

Además, la espectrometría de masas ha experimentado mejoras significativas. Las técnicas de espectrometría de masas de alta resolución permiten la identificación más precisa de sustancias químicas y la cuantificación de múltiples compuestos en una sola muestra. Esto ha sido crucial en el análisis de drogas de abuso, venenos y otros tóxicos.

La espectroscopía infrarroja y la espectroscopía de resonancia magnética nuclear también han mejorado, permitiendo la identificación y cuantificación de compuestos tóxicos en una amplia gama de matrices de muestra.

La automatización y la robótica han desempeñado un papel clave en la eficiencia de los análisis toxicológicos. Los sistemas automatizados pueden procesar grandes volúmenes de muestras, reduciendo los tiempos de análisis y minimizando el error humano.

La evolución de la biología molecular y la genómica también ha contribuido a los avances en toxicología. La capacidad de analizar genes específicos y proteínas involucrados en la respuesta a sustancias tóxicas ha mejorado nuestra comprensión de los mecanismos de toxicidad y ha permitido una evaluación más precisa del riesgo toxicológico.

En este sentido, la informática y el análisis de datos desempeñan un papel fundamental. Los programas y software especializados facilitan la gestión y el procesamiento de grandes conjuntos de datos generados por técnicas analíticas avanzadas.

En conclusión, los avances tecnológicos en análisis

toxicológicos han revolucionado el campo, mejorando la sensibilidad, especificidad y eficiencia de las pruebas. Estos avances han fortalecido la capacidad de los toxicólogos para detectar, identificar y cuantificar sustancias tóxicas, lo que es esencial tanto en la medicina clínica como en la investigación forense y ambiental.

### Desafíos emergentes en la disciplina.

La toxicología forense se enfrenta a varios desafíos en México y en todo el mundo en su labor de solucionar casos relacionados con exposición a sustancias tóxicas. Estos desafíos incluyen:

**Identificación de sustancias emergentes:** La aparición constante de nuevas drogas de diseño y sustancias tóxicas sintéticas representa un desafío para los laboratorios de toxicología forense. La capacidad de identificar y analizar estas sustancias es esencial para la resolución de casos relacionados con abuso de drogas y envenenamientos.

**Necesidad de métodos de detección actualizados:** Los laboratorios de toxicología forense deben mantenerse al día con los avances tecnológicos y los nuevos métodos de detección de sustancias tóxicas. Esto incluye la validación y la implementación de técnicas analíticas más sensibles y específicas.

**Amenazas a la cadena de custodia:** Mantener la cadena de custodia de las muestras es fundamental para la integridad de la evidencia en casos forenses. Los desafíos incluyen garantizar la recolección adecuada, el almacenamiento seguro y la trazabilidad de las muestras.

**Estándares de calidad y acreditación:** La necesidad de mantener estándares de calidad y la acreditación de los laboratorios de toxicología forense es fundamental para garantizar la confiabilidad y la admisibilidad de los resultados en procesos judiciales.

**Interferencia de medicamentos y sustancias legales:** En muchos casos, la presencia de medicamentos recetados y otras sustancias legales en el organismo puede interferir con la interpretación de los resultados toxicológicos, lo que hace necesario evaluar los efectos combinados de múltiples sustancias.

**Formación y capacitación del personal:** La toxicología forense requiere de personal altamente capacitado y con experiencia. Garantizar la formación continua y la actualización de los conocimientos es un desafío constante.

**Legislación y regulación actualizadas:** Las leyes y regulaciones en torno a la toxicología forense deben mantenerse al día para abordar cuestiones emergentes, como la legalización de ciertas drogas recreativas y la regulación de nuevas sustancias tóxicas.

**Colaboración interdisciplinaria:** En casos complejos, la colaboración entre diferentes disciplinas forenses, como la patología, la criminalística y la toxicología, es esencial para una evaluación integral de la evidencia.

**Afrontar la evolución de sustancias adictivas:** La creciente crisis de opioides y el abuso de sustancias adictivas representan desafíos significativos para la toxicología forense. La detección y la gestión de estos casos requieren una respuesta efectiva y

coordinada.

Recursos y financiación: Los laboratorios de toxicología forense a menudo enfrentan restricciones presupuestarias y falta de recursos, lo que puede limitar su capacidad para abordar casos de manera eficiente y efectiva.

## CONCLUSIÓN

En conclusión, el estudio detallado de la toxicología forense revela la complejidad y la importancia de esta disciplina interdisciplinaria en el ámbito de la justicia y la seguridad pública. Los temas abordados en el temario proporcionan una visión completa de los aspectos esenciales de la toxicología forense, desde su definición y alcance hasta su aplicación en casos forenses específicos.

La toxicología forense se enfrenta a una serie de desafíos, como la identificación de sustancias emergentes, la garantía de la cadena de custodia y la interferencia de sustancias legales en la interpretación de resultados. Sin embargo, estos desafíos están siendo abordados con soluciones innovadoras, como avances tecnológicos en análisis toxicológicos y la colaboración interdisciplinaria.

La importancia de la toxicología forense radica en su contribución a la búsqueda de justicia y la protección de la salud pública. Los análisis toxicológicos permiten esclarecer casos de intoxicación, envenenamiento y abuso de sustancias, lo que resulta en una sociedad más segura y justa. Además, la toxicología forense también desempeña un papel fundamental en la evaluación de la contaminación ambiental y la protección del medio ambiente.

En resumen, la toxicología forense es un campo en constante evolución, que continúa desempeñando un papel crucial en la resolución de casos judiciales y criminales. La integración de los avances tecnológicos, la colaboración interdisciplinaria y la adaptación a un entorno cambiante son elementos clave en la evolución de esta disciplina.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Roque, C. I. (2016). La Toxicología Forense. *Revista de Ciencias Forenses de Honduras*, 2(1), 63-67.
- Barajas-Calderón, H. I., García-Hinojosa, C. A., & Salas-Cruz, V. A. (2020). Toxicología forense. *Red Internacional de Divulgación Científica Forense*. Recuperado en, 2.
- Dorta, D. J., Yonamine, M., da Costa, J. L., & Martinis, B. S. (2018). *Toxicología forense*. Editora Blucher.
- García-Rodríguez, S., & Giménez, M. P. (2005). Re-

- cursos humanos e instrumentales en un laboratorio toxicológico forense. *Revista de Toxicología*, 22(1), 1-11.
- Pérez Sanz, R. (2019). Los cianuros como veneno en la toxicología forense.
- Soria, M. L. (2022). Avances en toxicología forense y su papel en el proceso forense (I). *Revista Española de Medicina Legal*.
- Roque, C. I. *La Toxicología Forense* e *Forensic Toxicology*.