



---

# Protocolo para la preservación de elementos forenses, la gestión y el transporte de mercurio incautado

Marzo a mayo 2021

**Autores:** Edward Martinez, Jean Luc Pujol, Eric Cantet y Jorge Pontes



*Este documento ha sido elaborado con la financiación de la Unión Europea. Su contenido es sólo responsabilidad de su autor y del programa EL PACCTO, y no refleja necesariamente las opiniones de la Unión Europea.*

## Contenido



Resumen ejecutivo .....	2
Contexto de la minería ilegal y la utilización del mercurio .....	3
Aspectos científicos del mercurio y la minería aurífera .....	3
Etapa de amalgama.....	3
Paso de separación de amalgama de oro y mercurio .....	4
Cantidad necesaria: las necesidades de mercurio varían en función de los métodos utilizados en la zona .....	4
El suministro de mercurio .....	5
¿Qué hacer cuando se descubre o incauta mercurio? .....	5
Centrarse en lo forense .....	5
Precauciones técnicas al tomar una muestra.....	6
A. Evitar la modificación de la composición isotópica de la muestra: no mezclar sin tomar muestras.....	6
B. Evitar la contaminación por otras sustancias.....	7
C. Condiciones de la toma de mercurio.....	7
D. Protegerse de toxicidad del mercurio por inhalación .....	7
E. Proteger la salud .....	8
Desarrollo de la actividad: el transporte y la transmisión a las autoridades judiciales competentes .....	8
Resumen de los puntos clave del proceso .....	9
¿Qué pruebas se pueden realizar para detectar el mercurio? .....	10
Conclusiones del protocolo .....	11

# Protocolo para la preservación de elementos forenses, la gestión y transporte de mercurio incautado

2

## Resumen ejecutivo

El mercurio se usa para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra. El mercurio se adhiere al oro formando una amalgama que facilita su separación de la roca, arena u otro material. Luego se calienta la amalgama para que se evapore el mercurio y quede el oro. La minería del oro artesanal y en pequeña escala es, por sí sola, la mayor fuente de liberación intencional de mercurio del mundo. (Español, 2012)

El mercurio elemental y el metilmercurio son tóxicos para el sistema nervioso central y el periférico. La inhalación de vapor de mercurio puede ser perjudicial para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo y los pulmones y riñones, con consecuencias a veces fatales. Las sales de mercurio inorgánicas son corrosivas para la piel, los ojos y el tracto intestinal y, al ser ingeridas, pueden resultar tóxicas para los riñones. Tras la inhalación o ingestión de distintos compuestos de mercurio o tras la exposición cutánea a ellos se pueden observar trastornos neurológicos y del comportamiento, con síntomas como temblores, insomnio, pérdida de memoria, efectos neuromusculares, cefalea o disfunciones cognitivas y motoras. En trabajadores expuestos durante varios años a niveles atmosféricos de al menos 20 µg/m<sup>3</sup> de mercurio elemental se pueden observar signos subclínicos leves de toxicidad para el sistema nervioso central. Se han descrito efectos en los riñones que van de la proteinuria a la insuficiencia renal. (OMS, 2017).

El presente “*Protocolo para la preservación de elementos forenses, la gestión y transporte de mercurio incautado*”, describe los lineamientos básicos para el manejo de esta sustancia y su preservación en el marco de las actuaciones relajadas por las autoridades de control, con el fin de garantizar la seguridad del personal que manipula y custodia la sustancia, así como su preservación y representatividad en el caso de muestras recolectadas para el análisis, destacándose los siguientes puntos:

- Precauciones de toma de muestras: se debe evitar la modificación de la composición isotópica de la muestra, no mezclar sin tomar muestras, evitar la contaminación por otras sustancias, garantizar las condiciones necesarias para la preservación de mercurio y su toma de muestra segura, protegerse de toxicidad del mercurio por inhalación y protección a la salud.
- Desarrollo de la actividad: el transporte y la transmisión a las autoridades judiciales competentes.

## Contexto de la minería ilegal y la utilización del mercurio

3

Los lugares con altas concentraciones comprobadas de mercurio (zonas mineras críticas), son fuentes importantes de dispersión del mercurio en los sistemas acuáticos y contribuyen a la contaminación por metilmercurio que es mucho más tóxico que el mercurio elemental y las sales inorgánicas. La contaminación alcanza los peces, la fauna y flora silvestres, con los efectos consiguientes en la vida de miles de personas, tanto de las que participan directamente en las actividades mineras como de las que viven en las cercanías. (Español, 2012)

La fácil adquisición de estas sustancias en tiendas locales y su relativa efectividad en el proceso de extracción de oro, mediante la amalgamación, ha convertido este elemento químico en una sustancia esencial en la minería ilegal de la región, generando grandes impactos negativos en la salud de las comunidades que intervienen en esta actividad y poblaciones cercanas y el medio ambiente, no solo de las zonas de extracción ilícita, sino de grandes áreas superficiales, ya que este elemento es bioacumulable en muchos seres vivos y se transporta fácilmente en el aire y afluentes hídricos.

## Aspectos científicos del mercurio y la minería aurífera

Los operadores buscan partículas de oro de distintos tamaños en la roca triturada o en la arena. Tras las fases de clasificación basadas en el peso de estas partículas de oro (procesos de clasificación basados en la densidad (fluyendo en una cinta, batiendo)), los mineros del oro extraen el oro jugando con su comportamiento químico. Se utilizan dos procesos: la cianuración y la amalgama de mercurio.

### Etapas de amalgama

El mercurio se añade a la arena procedente de las mesas de clasificación y trituración. El **mercurio** líquido se une a las partículas **de oro** y forma **una amalgama** (una especie de pasta que se puede moldear a mano). La amalgama se aísla de la arena restante. A continuación, se presiona a través de una tela filtrante para expulsar el mercurio libre aún atrapado. Las gotas de mercurio que se escapan de la tela se pueden recoger. La amalgama, en una pastilla, contiene 1,3g para 1g de oro.

## Paso de separación de amalgama de oro y mercurio

Existen dos técnicas:

- Ataque de la amalgama de oro/mercurio con ácido nítrico. El mercurio se disuelve y puede recuperarse por intercambio iónico con cobre.
- Calentamiento de la amalgama entre 400°C y 500°C. El mercurio se vaporiza a 356°C. El residuo de oro queda en forma de varias partículas. Es posible fundir el oro en pepitas o lingotes.

Este segundo método es muy utilizado en los sitios ilegales. El mercurio evaporado, que es peligroso para el medio ambiente y para la inhalación, podría condensarse para su reciclaje. Los pequeños productores consideran que el reciclaje de mercurio no es lo suficientemente eficaz y prefieren comprar cantidades mayores.

Los mercados surinameses de los que se abastecen los mineros del oro contienen mucho mercurio de mala calidad, resultado de un reciclaje más o menos eficaz.

Si el mercurio se "recicla", sus fracciones isotópicas pueden alterarse y la mezcla puede no ser rastreable. En los raros casos de presencia de equipos de reciclaje en el taller de calentamiento de amalgamas, las composiciones del mercurio capturado serán probablemente muy aleatorias y no inclinarán a considerar costosos análisis.

Para analizar las muestras con fines de trazabilidad, es preferible dirigirse hacia los envases más grandes, los más alejados de la cadena logística, que son los que tienen menos probabilidades de mezclarse localmente.

## Cantidad necesaria: las necesidades de mercurio varían en función de los métodos utilizados en la zona

A veces se añade mercurio directamente a una gran cantidad de mineral para amalgamar las partículas de oro (poco frecuente en Sudamérica), lo que requiere grandes volúmenes de mercurio: de 3 a 50 unidades de mercurio para una unidad de oro. El otro método de amalgamación añade mercurio al mineral previamente clasificado. La relación mercurio/oro puede oscilar entre 1,5 para los mejores y 6 ó 7 para las prácticas menos experimentadas. En zonas como Surinam, son habituales los ratios de 3,3.

Se pueden encontrar paquetes de hasta un kilo o incluso frascos de unos pocos cm<sup>3</sup> a nivel de los propios buscadores de oro. Los paquetes más grandes se encuentran en las fases anteriores de la cadena logística y probablemente estarán asociados a documentos contables o registros de transacciones. Las importaciones se realizan en botellas de 2,5 litros, es decir, 35 kg.

## El suministro de mercurio

### Envases

Dependiendo del país, el mercurio procederá de las importaciones oficiales o del tráfico informal.

En el caso de las importaciones oficiales, los envases están normalizados: unos dos litros y medio o entre 34 y 35 kg.

### Nota sobre la organización del trabajo

La organización del trabajo es importante para entender dónde estarán los elementos de mercurio.

En las parcelas ilegales, la organización del trabajo se lleva a cabo bajo la mirada de los directores de obra: existen, por tanto, estaciones especializadas. La estación de amalgamación puede ser única para varios contribuyentes: el operador tendrá que abastecerse de mercurio. La separación del oro y el mercurio también puede ser otro puesto especializado.

Comprender si existe tal especialización en el lugar ayudará a identificar la logística y el uso del mercurio.

## ¿Qué hacer cuando se descubre o incauta mercurio?

### Centrarse en lo forense

Cuando se encuentra mercurio, se debe dar prioridad a la ciencia forense. Antes de aplicar cualquier proceso, debe determinarse si la sustancia se encontró en presencia de un tercero o no.

Si el producto se ha encontrado en un lugar y no se puede atribuir a una persona, no parece inmediatamente apropiado tomar medidas para buscar huellas dactilares o tomar muestras biológicas para el análisis de ADN. En cambio, si se interceptan paquetes de gran tamaño, puede ser posible hacer un seguimiento incluso sin la intervención de un intermediario.

Por otro lado, cuando se detiene a un logístico, es imprescindible tomar medidas de precaución en cuanto a la manipulación del contenedor de mercurio para tomar muestras biológicas, que se prefieren a la búsqueda de rastros papilares.

Se debe realizar sistemáticamente un análisis biológico sobre el terreno, utilizando los kits previstos para ello, a toda persona que posea cualquier cantidad de mercurio.

Registrar y conservar la información logística Aunque en esta fase no sea fácil rastrear los datos hasta las bases de datos de análisis, las pruebas y los análisis deben almacenarse en un marco

que sea coherente con el uso de las pruebas en los tribunales, en el caso de los proveedores identificados.

- Anotar los elementos de descubrimiento asociados a la muestra: peso, tipo de recipiente y capacidad, marcas, idiomas de las inscripciones,
- Fotografiar los contenedores o supuestos contenedores, las inscripciones con las leyendas clásicas;
- Observar si el contenedor es único o si se encuentran varios contenedores (similares o no) en el sitio;
- Observar si el descubrimiento se produce en un nivel alto de la cadena de suministro (entrega interceptada, localización en un sitio grande en edificios que muestren una organización jerárquica: edificio del director del sitio, comercio; buscar en los libros de cuentas de las cuentas relacionadas con el mercurio - por el precio medio del mercurio, y la cantidad encontrada, podemos evaluar el precio pagado al logista e identificar la transacción en diferentes documentos).

## Precauciones técnicas al tomar una muestra

. El mercurio encontrado en el lugar suele ser "recuperado" con el recipiente en el que se encontró (botella de plástico como la de Coca-Cola o tarro de cristal de capacidad variable), y puesto en



una mochila por el investigador que actúa como OPJ con el fin de ser repatriado a las brigadas competentes y luego a una de las tres Compañías. No se realiza ninguna confiscación judicial sobre el terreno con ningún protocolo, medida de protección individual o método de embalaje específico.

### A. Evitar la modificación de la composición isotópica de la muestra: no mezclar sin tomar muestras

- Evitar mezclar el mercurio que se encuentra por separado;
- Evitar la evaporación, la condensación o la transformación del mercurio: estos fenómenos pueden modificar la distribución isotópica;
  - o No almacenar a la luz directa del sol o al calor: el mercurio comienza a evaporarse a 60° y la evaporación se "divide", es decir, los diferentes isótopos no se evaporan de la misma manera, lo que modifica la posible firma del mercurio;
  - o Cerrar herméticamente las botellas o añadir agua de lluvia si es necesario para evitar la evaporación.



## B. Evitar la contaminación por otras sustancias

- Conservar el embalaje del descubrimiento, si se trata de una pequeña cantidad, para enviar para su análisis;
- Tomar muestras en frascos de vidrio si se encuentra mercurio en grandes cantidades: un cm<sup>3</sup> es en gran medida suficiente: envase para peritaje y contra peritaje (2 réplicas);
- No obstante, conserve el recipiente grande para los análisis papilares, y elija un almacenamiento que preserve esta trazabilidad.

7

## C. Condiciones de la toma de mercurio.

El recipiente de mercurio debe introducirse en un contenedor de poliestireno aislado y adaptado a su tamaño para evitar cualquier roce inoportuno que pueda alterar las trazas biológicas que puedan revelarse.

Precauciones de seguridad



*Modelos de diferentes cajas de poliestireno para contenedores de mercurio*

## D. Protegerse de toxicidad del mercurio por inhalación

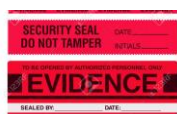
- En el momento de la recogida
- En el almacenamiento

El investigador debe llevar siempre una mascarilla protectora y guantes de un solo uso durante todas las manipulaciones y no sus guantes de intervención, como es habitual. Incluso se recomienda duplicar el par de guantes de un solo uso para evitar cualquier contaminación biológica.



## E. Proteger la salud


Cada caja debe contener dos pares de guantes desechables, una máscara protectora desechable y un juego de pegatinas específicas. Las pegatinas específicas deben colocarse en el envase para asegurar la muestra, determinar la peligrosidad del producto, permitir la localización del lugar del hallazgo con coordenadas GPS e identificar las referencias del procedimiento, así como al investigador responsable de la incautación. La colocación de estos adhesivos también permitirá identificar la naturaleza del producto y



garantizar la total trazabilidad en la forense.



cadena

EVIDENCE	
DATE COLLECTED:	_____
TIME COLLECTED:	_____
ITEM #:	_____
CASE #:	_____
COLLECTED BY:	_____
DESCRIPTION OF EVIDENCE:	_____
LOCATION WHERE COLLECTED:	_____
	

8

También garantizará una total seguridad para el transporte del producto incautado, ya sea por el contenedor de poliestireno o por la instalación del adhesivo de seguridad que impide cualquier apertura intempestiva del precinto.

## Desarrollo de la actividad: el transporte y la transmisión a las autoridades judiciales competentes

La trayectoria de las muestras, y de la eliminación del mercurio estará bien identificada:

No mezclar los diferentes mercurios incautados en el mismo recipiente a menos que se abandone el supuesto de análisis.

El mercurio tomado para su análisis debe enviarse a zonas universitarias con instalaciones de análisis (en Francia), ya que ningún laboratorio de la zona cercana a los lugares de lavado de oro domina esta técnica. En el caso de un análisis judicial, será necesario el acuerdo de un magistrado y se tomarán dos muestras (primer análisis y contraanálisis) garantizando la total trazabilidad. Este proceso de muestreo será, si es necesario (para Francia), llevado a cabo por la plataforma técnica del CIC de Cayena tras la validación de un protocolo establecido y certificado según las normas, de acuerdo con el oficial de policía judicial adjunto de la COMGEND.

También sería aconsejable, si el análisis tuviera lugar fuera de un marco judicial, obtener el acuerdo del fiscal para tomar una muestra de la sustancia. Este análisis, una vez realizado, debe integrarse en una base de datos para poder compararlo con otras muestras tomadas e intentar, en la medida de lo posible, determinar los orígenes de la sustancia.

No obstante, parece preferible, antes de analizar, constituir un conjunto de muestras de forma coordinada entre los distintos cuerpos de policía y países. Se trata, pues, de un conjunto consecuente de muestras que pueden enviarse para su análisis: el laboratorio receptor podrá así

realizar análisis específicos de isótopos o contaminantes de forma "relativa" para apoyar eventualmente las diferencias según las fuentes, en lugar de producir datos en valores absolutos, cuyo nivel de precisión puede ser difícil de definir.

Hay que recordar que este enfoque de la trazabilidad y la firma de las composiciones es, en esta fase, experimental, y no se beneficia de los datos de referencia. No hay necesidad técnica de transmitir rápidamente las muestras al laboratorio.

No obstante, será necesario garantizar la trazabilidad tanto de la incautación para la destrucción como de las muestras para el análisis: todo el mercurio que se encuentre deberá tener una indicación clara de si es para el análisis o para la eliminación de acuerdo con los procedimientos legales.

## Resumen de los puntos clave del proceso

La hipótesis de esta trazabilidad es frágil. Para la actividad, podemos más bien recomendar constituir internacionalmente un banco de muestras bien referenciado, para luego, de una vez, procesar las muestras para detectar si encontramos constantes y diferencias interesantes.

- Recuperar el producto descubierto utilizando guantes de un solo uso y equipo de protección personal;
- No mezclar el mercurio de varios contenedores;
- Empaquetar el envase en un envase adecuado a su tamaño para evitar cualquier roce que pueda alterar las trazas;
- Colocar el adhesivo que identifica la nocividad del producto y la banda de seguridad para cerrar el envase;
- Rellenar el formulario con la fecha, el lugar y las coordenadas GPS del hallazgo, identificar las referencias del procedimiento y el agente recolector;
- Tomar una muestra biológica del individuo utilizando el kit específico (si hay un encuestado);
- *Proceder a la audiencia del investigado, insistiendo en las condiciones de adquisición del mercurio (lugar, precio, cantidad, persona de contacto, etc.);*
- Al final de la misión, enviar la muestra a la unidad central;
- Establecer el formulario de seguimiento y trazabilidad de la muestra (y rellenarlo sistemáticamente cuando se entregue la muestra a un tercero);
- Realizar dos muestras de prueba para el análisis y vuelta a embalar el sello;

- Enviar las muestras a los servicios que las agrupan antes de enviarlas, o al laboratorio especializado para su análisis; alimentar la base de datos especializada que habrá que implementar.

## ¿Qué pruebas se pueden realizar para detectar el mercurio?

Los científicos que estudian la contaminación ambiental por mercurio pueden tomar muestras de suelo, agua, tejidos vivos (animales, alimentos) con niveles de mercurio. Pueden medir:

- La cantidad de mercurio presente en las muestras, con dispositivos portátiles como el LUMEX 900
  - A partir de muestras trituradas y liofilizadas, utilizando después disolventes, ultrasonidos o microondas para la extracción y el análisis de gases. Este tipo de análisis no sirve para la investigación.
- Formas de mercurio presentes:
  - El análisis de las especies de mercurio se realiza preferentemente mediante cromatografía de gases. No es necesario analizar el mercurio elemental capturado.
- La composición isotópica de este mercurio:
  - Es una fuerte suposición del proyecto: que esta composición puede señalar el origen del mercurio incautado.
  - Composición isotópica del mercurio en estado natural (IUPAC, 2003)

Isótopo	196	198	199	200	201	202	204
Distribución (%)	0.15+/- 0.01	9.97+/- 0.20	16.87+/- 0.22	23.10+/- 0.18	13.18+/- 0.09	29.86+/- 0.26	6.87+/- 0.15

- La presencia de otros elementos en el mercurio o del mercurio en otros elementos. Para analizar los rastros de elementos que acompañan al mercurio, se requiere ICP-MS. Se han desarrollado proyectos (TAO) para buscar contaminantes en el oro incautado e identificar los orígenes territoriales (trabajo de Laurent Bailly en BRGM Francia).

El análisis forense debe centrarse en el **mercurio elemental** utilizado por los mineros del oro, en particular la composición isotópica, o incluso la presencia de contaminantes (otros metales presentes en cantidades mínimas). Puede ser posible analizar el mercurio utilizado si la amalgama es incautada, siempre que se recupere el mercurio (ácido nítrico o calentamiento con retorta). Pero estas operaciones pueden modificar la composición isotópica.

## Conclusiones del protocolo

- El proceso de extracción de oro a partir de mercurio, inicia a través de su adicción a la arena procedente de las mesas de clasificación y trituración. El mercurio líquido se une a las partículas de oro y forma una amalgama (una especie de pasta que se puede moldear a mano). La amalgama se aísla de la arena restante. A continuación, se presiona a través de una tela filtrante para expulsar el mercurio libre aún atrapado. Las gotas de mercurio que se escapan de la tela se pueden recoger. La amalgama, en una pastilla, contiene 1,3g para 1g de oro.
- El mercurio elemental y el metilmercurio son tóxicos para el sistema nervioso central y el periférico. La inhalación de vapor de mercurio puede ser perjudicial para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo y los pulmones y riñones, con consecuencias a veces fatales. Las sales de mercurio inorgánicas son corrosivas para la piel, los ojos y el tracto intestinal y, al ser ingeridas, pueden resultar tóxicas para los riñones.
- Dependiendo del país, el mercurio procederá de las importaciones oficiales o del tráfico informal. En el caso de las importaciones oficiales, los envases están normalizados: unos dos litros y medio o entre 34 y 35 kg.
- En las parcelas ilegales, la organización del trabajo se lleva a cabo bajo la mirada de los directores de obra: existen, por tanto, estaciones especializadas. La estación de amalgamación puede ser única para varios contribuyentes: el operador tendrá que abastecerse de mercurio. La separación del oro y el mercurio también puede ser otro puesto especializado.
- El mercurio encontrado en el lugar suele ser "recuperado" con el recipiente en el que se encontró (botella de plástico como la de Coca-Cola o tarro de cristal de capacidad variable), y puesto en una mochila por el investigador que actúa como OPJ con el fin de ser repatriado a las brigadas competentes y luego a una de las tres Compañías. No se realiza ninguna confiscación judicial sobre el terreno con ningún protocolo, medida de protección individual o método de embalaje específico.
- Los recipientes de mercurio incautado deben introducirse en un contenedor de poliestireno aislado y adaptado a su tamaño para evitar cualquier roce inoportuno que pueda alterar las trazas biológicas que puedan revelarse.
- Los funcionarios que adelanten las actividades de incautación del mercurio, deben llevar siempre una mascarilla protectora y guantes de un solo uso durante todas las manipulaciones y no sus guantes de intervención, como es habitual. Incluso se recomienda duplicar el par de guantes de un solo uso para evitar cualquier contaminación biológica.

- El mercurio tomado para su análisis debe enviarse a zonas universitarias con instalaciones de análisis. En el caso de un análisis judicial, se tomarán dos muestras (primer análisis y contraanálisis) garantizando la total trazabilidad.
- Finalmente, el análisis forense es una herramienta muy versátil para adelantar investigaciones relacionadas como el tráfico de mercurio y debe centrarse en el compuesto elemental utilizado por los mineros del oro, en particular la composición isotópica, o incluso la presencia de contaminantes (otros metales presentes en cantidades mínimas). Puede ser posible analizar el mercurio utilizado si la amalgama es incautada, siempre que se recupere el mercurio (ácido nítrico o calentamiento con retorta). Pero estas operaciones pueden modificar la composición isotópica, de acuerdo a la revisión tecnológica realizada en la presente guía se resalta el uso de tecnologías para la detección de mercurio en campo como el dispositivo portátil LUMEX 900 y equipos de fluorescencia de rayos X.



# EL PAcCT

## EUROPA ↔ LATINOAMÉRICA

PROGRAMA DE ASISTENCIA CONTRA EL CRIMEN TRANSNACIONAL ORGANIZADO

Programa liderado por

 **FIIAPP**  
COOPERACIÓN ESPAÑOLA

 **EXPERTISE FRANCE**

Socios coordinadores

 **iila**  
INSTITUTO INTERAMERICANO DE INVESTIGACIÓN LEGAL

 **CAMÕES**  
INSTITUTO DA COOPERAÇÃO E DA LÍNGUA  
PORTUGAL  
MINISTÉRIO DOS NEGÓCIOS ESTRANGEIROS

  
PROGRAMA FINANCIADO  
POR LA UNIÓN EUROPEA