



CONVENIO DE BASILEA

Distr.: general
8 de julio de 2022

Español
Original: inglés

**Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el
Control de los Movimientos Transfronterizos de los
Desechos Peligrosos y su Eliminación
15.ª reunión**

Ginebra, 26 a 30 de julio de 2021 y 6 a 17 de junio de 2022*
Tema 4 b) i) del programa

**Cuestiones relacionadas con la aplicación del Convenio:
asuntos científicos y técnicos: directrices técnicas**

Directrices técnicas

Adición

**Directrices técnicas sobre el manejo ambientalmente racional de desechos
consistentes en mercurio o compuestos de mercurio, que los contengan o
estén contaminados con ellos**

Nota de la Secretaría

En su 15.ª reunión, la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación adoptó, en la decisión BC-15/9 relativa a las directrices técnicas sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio, que los contengan o estén contaminados con ellos, las directrices técnicas sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio, que los contengan o estén contaminados con ellos, sobre la base del proyecto de orientación contenida en el documento UNEP/CHW.15/6/Add.6. El texto de las directrices técnicas, tal como fue aprobado, figura en el anexo de la presente nota, la cual, incluido su anexo, no ha sido editada formalmente.

* De conformidad con las decisiones BC-15/1, RC-10/2 y SC-10/2 de las conferencias de las Partes en los convenios de Basilea, Estocolmo y Rotterdam, las reuniones de las conferencias de las Partes de 2021/2022 están realizándose en dos series de sesiones: una serie de sesiones en línea del 26 al 30 de julio de 2021 y una serie de sesiones presenciales del 6 al 17 de junio de 2022 en Ginebra.

Anexo

Directrices técnicas sobre el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio, que los contengan o estén contaminados con ellos

(Versión de 17 de junio de 2022)

Índice

Abreviaturas y siglas	5
Unidades de medida	6
I. Introducción	7
A. Ámbito de aplicación	7
B. Acerca del mercurio	8
II. Disposiciones pertinentes del Convenio de Basilea y vínculos internacionales	9
A. Convenio de Basilea	9
1. Disposiciones generales.....	9
2. Disposiciones relacionadas con el mercurio	10
B. Vínculos internacionales	12
1. Convenio de Minamata sobre el Mercurio.....	12
2. Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA	18
3. Protocolo relativo a los metales pesados	19
4. SAICM	19
III. Orientaciones sobre el manejo ambientalmente racional	19
A. Consideraciones generales	19
1. Convenio de Basilea	19
2. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.....	20
3. Manejo del mercurio basado en el ciclo de vida	20
B. Marco legislativo y reglamentario	23
1. Registro de los generadores de desechos	23
2. Reducción y eliminación del uso de mercurio en la extracción y tratamiento de oro artesanales y en pequeña escala, en productos y procesos industriales.....	23
3. Requisitos aplicables a los movimientos transfronterizos	24
4. Autorización e inspección de las instalaciones para la eliminación.....	26
C. Identificación e inventario	26
1. Identificación de las fuentes de desechos de mercurio	26
2. Inventarios	33
D. Muestreo, análisis y vigilancia.....	34
1. Muestreo	35
2. Análisis	36
3. Vigilancia.....	39
E. Prevención y reducción al mínimo de los desechos	39
1. Prevención y reducción al mínimo de los desechos de procesos	39
a) Extracción de oro artesanal y en pequeña escala	40
b) Producción de monómeros de cloruro de vinilo	40
c) Producción de cloro-álcali	41
d) Centrales eléctricas de carbón y calderas industriales de carbón.....	42
e) Procesos de fundición y tostado en la producción de metales no ferrosos	42
f) Procesamiento de petróleo crudo y gas natural	42
2. Prevención y reducción al mínimo de los desechos de productos que contienen mercurio y compuestos de mercurio	42
a) Productos que no contienen mercurio	43
b) Establecimiento de límites máximos al contenido de mercurio en los productos	43
c) Adquisición	44
3. Responsabilidad ampliada del productor	44
F. Manipulación, separación, recogida, empaque, etiquetado, transporte y almacenamiento.....	46
1. Manipulación	46
2. Separación	47
3. Recogida	48
4. Empaque y etiquetado.....	50
5. Transporte.....	51
6. Almacenamiento	51
G. Eliminación ambientalmente racional	54
1. Procesos de recuperación de mercurio	55

2.	Operaciones que no conducen a la recuperación de mercurio o compuestos de mercurio.....	61
H.	Reducción de las liberaciones de mercurio mediante el tratamiento térmico y la descarga de los desechos en vertederos	71
1.	Reducción de las liberaciones de mercurio mediante el tratamiento térmico de los desechos.....	71
2.	Reducción de las liberaciones de mercurio de los vertederos especialmente diseñados para desechos domésticos	73
I.	Gestión de lugares contaminados.....	73
J.	Salud y seguridad.....	73
K.	Respuesta en casos de emergencia.....	75
1.	Plan de respuesta en casos de emergencia	75
2.	Consideración especial de los derrames de mercurio o compuestos de mercurio	75
L.	Concienciación y participación.....	76
	Annex to the technical guidelines: Bibliography	79

Abreviaturas y siglas

AAS	espectrometría por absorción atómica
AFS	espectrometría de fluorescencia atómica
AOX	hálidos orgánicos absorbibles
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAS	<i>Chemical Abstracts Service</i> (Servicio de Resúmenes Químicos)
CEN	Comité Europeo de Normalización
CEPE	Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas
CFL	lámparas fluorescentes compactas
Cl	cloro
CH ₃ Hg ⁺ o MeHg ⁺	monometilmercurio, denominado comúnmente metilmercurio
EN	norma europea
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEMS	Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente
HCl	ácido clorhídrico
HF	ácido fluorhídrico
HFC	coque de horno de solera
Hg	mercurio
HgCl ₂	dicloruro de mercurio
HgO	óxido de mercurio (II)
HgS	sulfuro mercúrico o cinabrio
HgSO ₄	sulfato de mercurio
HNO ₃	ácido nítrico
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
ICCM	Conferencia Internacional sobre Gestión de los Productos Químicos
ICP	plasma inductivamente acoplado
IIED	Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo
IMERC	Interstate Mercury Education and Reduction Clearinghouse
ISO	Organización Internacional de Normalización
JIS	norma industrial japonesa
JLT	ensayo normalizado de lixiviación del Japón
JSA	Asociación de Normalización del Japón
LCD	visualizador de cristal líquido
LFL	lámpara fluorescente lineal
MEE	Ministerio de Ecología y Medio Ambiente (China)
MMSD	Mining, Minerals and Sustainable Development (proyecto IIED/WBCSD)
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos
NEWMOA	Asociación Nororiental de Encargados del Manejo de Desechos
NIMD	Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata
NO _x	óxido de nitrógeno
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OEWG	Grupo de Trabajo de composición abierta (del Convenio de Basilea)
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMI	Organización Marítima Internacional
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	organización no gubernamental
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PACE	Asociación para la acción en materia de equipos de computadoras
PBB	difenilo polibromado
PBDE	éteres de difenilo polibromado
PCB	bifenilo policlorado

PCDD/PCDF	dibenzodioxina policlorada/dibenzofurano policlorado
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PVC	cloruro de polivinilo
QSC	Quicksilver Caucus
SAICM	Enfoque estratégico para la gestión de los productos químicos a nivel internacional
SETAC	Sociedad de Toxicología y Química Ambientales
SGA	Sistema Globalmente Armonizado
SO ₂	dióxido de azufre
TS	Especificación técnica
UE	Unión Europea
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
VCM	monómero de cloruro de vinilo

Unidades de medida

µg	microgramo
mg	miligramo
g	gramo
kg	kilogramo
mg/kg	miligramo por kilogramo. Corresponde a partes por millón (ppm) en masa
l	litro
m ³	metro cúbico
cm ³	centímetro cúbico
°C	grado Celsio

I. Introducción

A. Ámbito de aplicación

1. En las presentes directrices técnicas se imparten orientaciones sobre el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio¹ o compuestos de mercurio², que los contengan o estén contaminados con ellos, en lo sucesivo “desechos de mercurio”, de conformidad con las decisiones del Convenio de Basilea y del Convenio de Minamata³. El presente documento sustituye las *Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio, que los contienen o están contaminados con estos*, aprobadas por la Conferencia de las Partes en su 12.^a reunión.

2. Además, las presentes directrices técnicas abordan las disposiciones a las que se hace referencia en los apartados a) - c) del párrafo 3 del artículo 11, del párrafo 4 y del apartado b) del párrafo 5 del artículo 3 del Convenio de Minamata. En el apartado a) del párrafo 3 del artículo 11 del Convenio de Minamata se establece el vínculo entre las presentes directrices y las obligaciones de las Partes en el Convenio de Minamata de gestionar los desechos de mercurio de manera ambientalmente racional. Para más detalles véase la sección II.B.1 de las presentes directrices.

3. Las presentes directrices se centran en los desechos de mercurio con la categoría de desechos peligrosos u otros desechos en virtud del Convenio de Basilea y en los desechos de mercurio según la definición del Convenio de Minamata.

4. Los desechos de mercurio enumerados a continuación son objeto de las presentes directrices (para más información⁴, véanse los cuadros 1 y 5):

A: Desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio (por ejemplo, excedentes de mercurio procedentes del desmantelamiento de plantas de cloro-álcali, el mercurio recuperado⁵ de desechos que contienen mercurio o compuestos o desechos de mercurio contaminados con mercurio o compuestos de mercurio, o existencias sobrantes de mercurio designadas como desecho);

B: Desechos que contienen mercurio o compuestos de mercurio con las siguientes subcategorías:

B1: Desechos de productos que contengan mercurio o compuestos de mercurio que liberen fácilmente el mercurio al medio ambiente, incluso cuando se rompen (por ejemplo, termómetros de mercurio, lámparas fluorescentes);

B2: Desechos de productos que contengan mercurio o compuestos de mercurio distintos de los mencionados en B1 (por ejemplo, las pilas); y

C: Desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio (es decir, residuos generados por procesos de extracción de minerales, procesos industriales o procesos de tratamiento de desechos).

5. En el párrafo 1 del artículo 11 del Convenio de Minamata se establece un vínculo entre las definiciones pertinentes del Convenio de Basilea, tales como la definición de desechos, y los desechos cubiertos por el Convenio de Minamata. De conformidad con el párrafo 2 del artículo 11 del Convenio de Minamata, se definen como desechos de mercurio solamente los desechos que: a) constan de mercurio o compuestos de mercurio; b) que contienen mercurio o compuestos de mercurio; o c) que están contaminados con mercurio o compuestos de mercurio en una cantidad que exceda los umbrales pertinentes definidos por la Conferencia de las Partes en el Convenio. Se excluyen de esta definición la roca de recubrimiento, la roca de desecho y los desechos de la minería, salvo los derivados de la

¹ Por “mercurio” se entiende el mercurio elemental (Hg(0), n.º de CAS 7439-97-6); véase el apartado d) del artículo 2 del Convenio de Minamata sobre el Mercurio (en lo adelante “Convenio de Minamata”).

² Por “compuesto de mercurio” se entiende toda sustancia que consiste en átomos de mercurio y uno o más átomos de elementos químicos distintos que pueden separarse en componentes diferentes solo por medio de reacciones químicas (véase el apartado e) del artículo 2 del Convenio de Minamata).

³ Decisiones VIII/33, IX/15, BC-10/7, BC-11/5, BC-12/4, 14/8 y 15/9 de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación; decisiones VI/20, VII/7 y OEWG-9/4 del Grupo de Trabajo de composición abierta del Convenio de Basilea y decisiones MC-2/2, MC-3/5 y MC-4/6 de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Minamata.

⁴ Véase también el apartado a) del párrafo 1 de la sección II.B.

⁵ Teniendo en cuenta las disposiciones del Convenio de Minamata, el término “mercurio recuperado de desechos” se utiliza en el presente documento tanto para los casos en que tal recuperación corresponde a la operación incluida en la sección B del anexo IV del Convenio de Basilea como a la operación incluida en la sección A del anexo IV del Convenio de Basilea. Véase también el párrafo 181.

extracción primaria de mercurio, a menos que contengan cantidades de mercurio o compuestos de mercurio que excedan los umbrales definidos por la Conferencia de las Partes⁶. Los desechos de productos con mercurio añadido⁷ pertenecen a los desechos definidos en b) que contienen mercurio o compuestos de mercurio. De conformidad con el apartado b) del párrafo 5 del artículo 3, del Convenio de Minamata, la existencia de exceso de mercurio procedente del desmantelamiento de plantas de producción de cloro-álcali pertenece a los desechos que constan de mercurio o compuestos de mercurio contemplados en el apartado a).

6. La definición de desechos en el marco del Convenio de Basilea se describe en el párrafo 13 *infra*, y los desechos de mercurio en el ámbito del Convenio de Basilea se describen en la sección II.A.2. Cabe señalar que en el Convenio de Basilea no existe una definición específica de “desechos de mercurio”. Los umbrales de mercurio descritos en el Convenio de Minamata son independientes de las disposiciones sobre la determinación de desechos peligrosos y los requisitos para los movimientos transfronterizos en el marco del Convenio de Basilea.

B. Acerca del mercurio⁸

7. El mercurio es o ha sido ampliamente utilizado en productos como dispositivos de medición (barómetros, higrómetros, manómetros, termómetros, esfigmomanómetros), interruptores y relés, lámparas fluorescentes, pilas, cosméticos, plaguicidas, biocidas, antisépticos tópicos y amalgama dental, así como en procesos de fabricación tales como los que comprenden la producción de cloro-álcali, acetaldehídos, monómeros de cloruro de vinilo, metilatos o etilatos de sodio o potasio, poliuretano, chapado de oro y productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio. El mercurio también puede ser un subproducto de procesos de refinación o producción de materias primas, como la refinación de petróleo y gas y la producción de metales no ferrosos

8. Las emisiones y liberaciones de mercurio pueden ser causadas por actividades humanas (es decir, que pueden ser antropógenas), pero también pueden proceder de fuentes naturales como las erupciones volcánicas y los incendios forestales. Tan pronto el mercurio es emitido o liberado al medio ambiente, persiste en la atmósfera (como vapor de mercurio, como compuestos en forma de partículas o en partículas), el suelo (como mercurio iónico) y masas de agua (metilmercurio (MeHg, o CH_3Hg^+)). El mercurio en el aire puede transportarse por todo el mundo para finalmente depositarse en los suelos, las aguas y las plantas. De allí puede revolatilizarse hacia el aire o seguir transportándose por el agua o pasar a la red alimentaria (PNUMA, 2019a). En la introducción del Convenio de Minamata se reconoce que el mercurio es un producto químico de preocupación mundial debido a su transporte a larga distancia en la atmósfera, su persistencia en el medio ambiente una vez liberado, su capacidad de bioacumulación en los ecosistemas y sus importantes efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente..

⁶ La Conferencia de las Partes ha decidido que no es necesario establecer umbrales para los desechos de mercurio incluidos en los apartados a) y b) del párrafo 2 del artículo 11 del Convenio, y que actualmente no es necesario establecer umbrales para la roca de recubrimiento y la roca de desecho de la minería salvo los derivados de la extracción primaria de mercurio, mientras que se encomendó continuar la labor a fin de establecer umbrales para los desechos de mercurio comprendidos en el apartado c) del párrafo 2 del artículo 11 del Convenio y para los desechos de la minería de metales no ferrosos a escala industrial salvo los derivados de la minería primaria de mercurio (véase la decisión MC-3/5). Para más detalles véase la sección II.B.1.

⁷ Por “producto con mercurio añadido” se entiende un producto o componente de un producto al que se haya añadido mercurio o un compuesto de mercurio de manera intencional; (véase el apartado f) del artículo 2 del Convenio de Minamata).

⁸ Para más información sobre el mercurio y sus propiedades químicas, fuentes, comportamiento en el medio ambiente, riesgos para la salud humana y sobre los riesgos y la contaminación por mercurio pueden consultarse las siguientes fuentes (véase el anexo de la bibliografía para conocer todas las obras de consulta).

- Sobre las propiedades químicas: Japan Public Health Association, 2001; Steffen, y otros 2007; OMS, 2003; Spiegel y Veiga, 2006; OIT, 2014 y 2019; Oliveira y otros, 1998 y Tajima, 1970;
- Sobre fuentes de emisiones antropógenas: PNUMA, 2008a y The Zero Mercury Working Group, 2009;
- Sobre comportamiento en el medio ambiente: Japan Public Health Association, 2001 y Wood, 1974;
- Sobre riesgos para la salud humana: Ozonoff, 2006; Sanbom y Brodberg, 2006; Sakamoto y otros, 2005, OMS 1990; Kanai y Endou, 2003; Kerper, Ballatori y Clarkson, 1992, Mottet y otros, 1985; Sakamoto y otros, 2004; Oikawa y otros, 1983; Richardson 2003, Richardson y Allan, 1996, Gay, Cox y Reinhardt, 1979; Van Boom y otros, 2003; Hylander y Meili, 2005; Bull, 2006; OMS, 1972, 1990, 1991 y 2003; Japan Public Health Association, 2001; Canadian Centre for Occupational Health and Safety, sin fecha; Asano y otros, 2000 y PNUMA y OMS, 2008;
- Sobre la contaminación por mercurio: Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 1997 y 2002; Amin-Zaki y otros, 1978; Bakir y otros, 1973; Damluji y Tikriti, 1972; PNUMA, 2002; Lambrecht, 1989; GroundWork 2005; Escuela de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad de Michigan, 2000 y Butler, 1997.

9. La manipulación, recogida, transporte o eliminación de los desechos de mercurio pueden dar lugar a emisiones o liberaciones de mercurio, en particular si se realizan de forma indebida.
10. Las descargas de aguas residuales con mercurio en la bahía de Minamata, Japón, desde 1932 hasta 1968 (Ministerio de Medio Ambiente, Japón, 2002), el vertido ilícito de desechos contaminados con mercurio en Camboya en 1998 (Honda y otros, 2006; NIMD, 1999), y el caso que involucró a Thor Chemicals en Sudáfrica (Lambrecht, 1989), son solo algunos ejemplos de situaciones en las que no se han manejado de manera ambientalmente racional desechos que contienen mercurio o están contaminados con mercurio o compuestos de mercurio.
11. La intención de las disposiciones del Convenio de Minamata es, entre otras, reducir la oferta y la demanda de mercurio. La tendencia creciente a nivel mundial hacia la eliminación de los productos y procesos con mercurio añadido que utilizan mercurio puede causar el incremento temporal de algunos desechos de mercurio, en particular de los desechos consistentes en mercurio. En algunos países ha habido un aumento del uso de algunos productos con contenido de mercurio o compuestos de mercurio como son las lámparas fluorescentes, que se están utilizando en sustitución de las lámparas incandescentes y visualizadores de cristal líquido (LCD) con lámparas de retroiluminación con mercurio. No obstante, en algunos países se han reemplazado las lámparas fluorescentes por lámparas de diodos emisores de luz (leds), las cuales son alternativas de menor consumo de energía y que no contienen mercurio.

II. Disposiciones pertinentes del Convenio de Basilea y vínculos internacionales

A. Convenio de Basilea

1. Disposiciones generales

12. La finalidad del Convenio de Basilea es proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos resultantes de la generación, el manejo, los movimientos transfronterizos y la eliminación de desechos peligrosos y otros desechos.
13. En el párrafo 1 del artículo 2 (“Definiciones”), del Convenio de Basilea se definen los desechos como “ las sustancias u objetos a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional”. En el párrafo 4 del artículo 2, el Convenio estipula que se entiende por eliminación “cualquiera de las operaciones especificadas en el Anexo IV” del Convenio. El anexo IV contiene dos categorías de operaciones: las que pueden conducir a la recuperación de recursos, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa y otros usos (operaciones R) y las que no ofrecen esa posibilidad (operaciones D). En el párrafo 8 del artículo 2 se define el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos o de otros desechos como la adopción de todas las medidas posibles para garantizar que los desechos peligrosos y otros desechos se manejen de manera que queden protegidos el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos que pueden derivarse de tales desechos.
14. En el párrafo 1 del artículo 4 (“Obligaciones generales”) se establece el procedimiento según el cual las Partes que ejerzan su derecho a prohibir la importación de desechos peligrosos u otros desechos para su eliminación, comunicarán a las demás Partes su decisión. En el apartado a) del párrafo 1 se estipula lo siguiente: “Las Partes que ejerzan su derecho a prohibir la importación de desechos peligrosos y otros desechos para su eliminación, comunicarán a las demás Partes su decisión de conformidad con el artículo 13”. En el apartado b) del párrafo 1 se dispone que: “Las Partes prohibirán o no permitirán la exportación de desechos peligrosos y otros desechos a las Partes que hayan prohibido la importación de esos desechos, cuando dicha prohibición se les haya comunicado de conformidad con el apartado a)”
15. En los apartados a) - e) y g) del párrafo 2 y en el párrafo 8 del artículo 4 figuran disposiciones clave relativas al manejo ambientalmente racional, la reducción al mínimo de los desechos, la reducción del movimiento transfronterizo y las prácticas de eliminación de desechos con vistas a mitigar los efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente:

Apartados a) – e) y g) del párrafo 2: “Cada Parte tomará las medidas apropiadas para:

- a) Reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos en ella, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos;

- b) Establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, cualquiera que sea el lugar donde se efectúa su eliminación que, en la medida de lo posible, estará situado dentro de ella;
- c) Velar por que las personas que participen en el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos dentro de ella adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación y, en caso de que se produzca ésta, para reducir al mínimo sus consecuencias sobre la salud humana y el medio ambiente;
- d) Velar por que el movimiento transfronterizo de los desechos peligrosos y otros desechos se reduzca al mínimo compatible con un manejo ambientalmente racional y eficiente de esos desechos, y que se lleve a cabo de forma que se protejan la salud humana y el medio ambiente de los efectos nocivos que puedan derivarse de ese movimiento;
- e) No permitir la exportación de desechos peligrosos y otros desechos a un Estado o grupo de Estados pertenecientes a una organización de integración económica y/o política que sean Partes, particularmente a países en desarrollo, que hayan prohibido en su legislación todas las importaciones, o si tiene razones para creer que tales desechos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional, de conformidad con los criterios que adopten las Partes en su primera reunión;” y
- “g) Impedir la importación de desechos peligrosos y otros desechos si tiene razones para creer que tales desechos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional.”

Párrafo 8: “Toda Parte exigirá que los desechos peligrosos y otros desechos, que se vayan a exportar, sean manejados de manera ambientalmente racional en el Estado de importación y en los demás lugares”.

16. La Enmienda sobre la Prohibición, la cual entró en vigor el 5 de diciembre de 2019, estipula que las Partes incluidas en el anexo VII del Convenio (miembros de la UE, la OCDE y Liechtenstein) deberán prohibir los movimientos transfronterizos hacia los Estados no enumerados en el anexo VII de los desechos peligrosos que estén destinados a las operaciones previstas en el anexo IV A y de los desechos peligrosos contemplados en el apartado a) del inciso 1 del artículo 1 que estén destinados a las operaciones previstas en el anexo IV B⁹.

2. Disposiciones relacionadas con el mercurio

17. El artículo 1 (“Alcance del Convenio”) determina los tipos de desechos que son objeto del Convenio de Basilea. En el apartado a) del párrafo 1 se establece un proceso en dos etapas para determinar si un “desecho” es “desecho peligroso” a los efectos del Convenio: primeramente, el desecho debe pertenecer a una de las categorías incluidas en el anexo I del Convenio (“Categorías de desechos que hay que controlar”) y, en segundo lugar, debe poseer por lo menos una de las características incluidas en el anexo III del Convenio (“Lista de características peligrosas”).

18. Se presume que los desechos incluidos en el anexo I muestran una o varias de las características peligrosas del anexo III. Esas características pueden ser H6.1 “Tóxicos (venenos) agudos”, H8 “Corrosivos”, H11 “Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos)” o H12 “Ecotóxicos”, a menos que se pueda demostrar, por medio de “ensayos nacionales”, que no muestran esas características. Las pruebas nacionales pueden ser útiles para determinar una característica peligrosa específica incluida en el anexo III hasta el momento en que quede plenamente definida la característica peligrosa. En el marco del Convenio se han redactado documentos de orientación¹⁰ en relación con algunas características peligrosas incluidas en el anexo III.

19. En la lista A del anexo VIII se describen los desechos que están “caracterizados como peligrosos de conformidad con el apartado a) del párrafo 1 del presente Convenio” aunque “su inclusión en este anexo no obsta para que se use el anexo III [características peligrosas] para demostrar que un desecho no es peligroso” (anexo I, párrafo b)). En la lista B del anexo IX se incluyen los desechos “que no estarán sujetos a lo dispuesto en el apartado a) del párrafo 1 del artículo 1 del Convenio de Basilea, a menos que

⁹ Para obtener información sobre la situación de las diferentes Partes con respecto a la enmienda, véase el Estado de las Ratificaciones en la página correspondiente del sitio web del Convenio de Basilea.

¹⁰ Los siguientes documentos pueden consultarse en el sitio web del Convenio de Basilea:

“Work on hazard characteristics - Approach to Basel Convention hazard characteristic H11: characterization of chronic or delayed toxicity”

“Interim guidelines on the hazardous characteristic H12-Ecotoxic”

<http://basel.int/Implementation/TechnicalMatters/DevelopmentofTechnicalGuidelines/TechnicalGuidelines/tabid/8025/Default.aspx>.

contengan materiales incluidos en el anexo I en una cantidad tal que les confiera una de las características del anexo III.”

20. Como se estipula en el apartado b) del párrafo 1 del artículo 1, también son objeto del Convenio de Basilea “los desechos no incluidos en el apartado a), pero definidos o considerados peligrosos por la legislación interna de la Parte que sea Estado de exportación, de importación o de tránsito”.

21. Como se expresa en el párrafo 2 del artículo 1, “Los desechos que pertenezcan a cualesquiera de las categorías contenidas en el Anexo II y que sean objeto de movimientos transfronterizos serán considerados “otros desechos” a los efectos del presente Convenio.”

22. En el cuadro 1 a continuación se enumeran los desechos de mercurio incluidos en los anexos I, II y VIII del Convenio.

Cuadro 1: Desechos de mercurio incluidos en los anexos I, II y VIII del Convenio de Basilea (los subrayados en el cuadro son nuestros)

Entradas que hacen referencia directa al mercurio	
Y29	Desechos que tengan como constituyentes: <i>Mercurio, compuestos de mercurio</i>
A1010	Desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones de cualquiera de las sustancias siguientes: ... - <i>Mercurio</i> ... pero excluidos los desechos que figuran específicamente en la lista B.
A1030	Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes cualquiera de las sustancias siguientes: ... - <i>Mercurio, compuestos de mercurio</i> ...
A1180	Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de estos ¹¹ que contengan componentes como acumuladores y otras baterías incluidos en la lista A, <i>interruptores de mercurio</i> , vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitadores de PCB, o contaminados con constituyentes del anexo I (por ejemplo, cadmio, <i>mercurio</i> , plomo, bifenilo policlorado) en tal grado que posean alguna de las características del anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B1110) ¹²
Otras entradas relacionadas con desechos que pueden contener mercurio o estar contaminados con este	
Y1	Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos y clínicas
Y2	Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos
Y3	Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos
Y4	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos
Y11	Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico
Y12	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices
Y46	Desechos recogidos de los hogares
Y47	Residuos resultantes de la incineración de desechos de los hogares
Y48	Desechos plásticos, incluidas las mezclas de esos desechos, salvo las siguientes excepciones ¹³
A1170	Acumuladores de desecho sin seleccionar excluidas mezclas de acumuladores sólo de la lista B. Los acumuladores de desecho no incluidos en la lista B que contengan constituyentes del anexo I en tal grado que los conviertan en peligrosos
A2030	Desechos de catalizadores, pero excluidos los desechos de este tipo especificados en la lista B

¹¹ En esta entrada no se incluyen los restos de instalaciones para la generación de energía eléctrica.

¹² Los PCB tienen un nivel de concentración de 50 mg/kg o más.

¹³ Véase el texto íntegro de la entrada Y48 en el Convenio.

A2060	Cenizas volantes de centrales eléctricas de carbón que contengan sustancias del anexo I en concentraciones tales que presenten características del anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B2050)
A3170	Desechos resultantes de la producción de hidrocarburos halogenados alifáticos (tales como clorometano, dicloroetano, cloruro de vinilo, cloruro de alilo y epícloridrina)
A3210	Desechos plásticos, incluidas mezclas de esos desechos, que contengan constituyentes del anexo I, o estén contaminados con ellos, en tal grado que presenten una de las características del anexo III (véanse las entradas conexas Y48 en el anexo II y en la lista B B3011)
A4010	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos farmacéuticos, pero con exclusión de los desechos especificados en la lista B
A4020	Desechos clínicos y afines; es decir desechos resultantes de prácticas médicas, de enfermería, dentales, veterinarias o actividades similares, y desechos generados en hospitales u otras instalaciones durante actividades de investigación o el tratamiento de pacientes, o de proyectos de investigación
A4030	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos, con inclusión de desechos de plaguicidas y herbicidas que no respondan a las especificaciones, caducados, o no aptos para el uso previsto originalmente
A4070	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices, con exclusión de los desechos especificados en la lista B (véase el apartado correspondiente de la lista B B4010)
A4080	Desechos de carácter explosivo (pero con exclusión de los desechos especificados en la lista B)
A4100	Desechos resultantes de la utilización de dispositivos de control de la contaminación industrial para la depuración de los gases industriales, pero con exclusión de los desechos especificados en la lista B
A4130	Envases y contenedores de desechos que contienen sustancias incluidas en el anexo I, en concentraciones suficientes como para mostrar las características peligrosas del anexo III
A4140	Desechos que consisten en productos químicos que no responden a las especificaciones o caducados, ¹⁴ o los contienen, correspondientes a las categorías del anexo I, y que muestran las características peligrosas del anexo III
A4160	Carbono activado consumido no incluido en la lista B (véase el correspondiente apartado de la lista B B2060)

B. Vínculos internacionales

1. Convenio de Minamata sobre el Mercurio

23. El objetivo del Convenio de Minamata, el cual entró en vigor el 16 de agosto de 2017, es proteger la salud de las personas y el medio ambiente frente a las emisiones y liberaciones antropógenas de mercurio y compuestos de mercurio. Para lograr este objetivo, el Convenio de Minamata tiene como propósito, entre otros:

- a) Reducir la oferta de mercurio y controlar su comercio internacional;
- b) Reducir la demanda de mercurio en los productos, los procesos de fabricación y la minería artesanal y a pequeña escala del oro;
- c) Reducir las emisiones y liberaciones de mercurio en la atmósfera, los suelos y el agua;
- d) Asegurar el almacenamiento provisional ambientalmente racional del mercurio y de los compuestos de mercurio destinados a ser utilizados;
- e) Asegurar el manejo ambientalmente racional de los desechos de mercurio y abordar el manejo de los lugares contaminados con mercurio o compuestos de mercurio;
- f) Promover la creación de capacidad, la prestación de asistencia técnica y la transferencia de tecnología, también mediante la concertación de arreglos específicos financieros y de otra índole.

a) Disposiciones relativas a los desechos

24. En el artículo 11 (“Desechos de mercurio”) del Convenio de Minamata figuran las siguientes disposiciones relativas a los desechos:

¹⁴ "Caducados" significa no utilizados durante el período recomendado por el fabricante.

“1. Las definiciones pertinentes del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación se aplicarán a los desechos incluidos en el presente Convenio para las Partes en el Convenio de Basilea. Las Partes en el presente Convenio que no sean Partes en el Convenio de Basilea harán uso de esas definiciones como orientación aplicada a los desechos a que se refiere el presente Convenio.

2. A los efectos del presente Convenio, por desechos de mercurio se entienden sustancias u objetos:

- a) que constan de mercurio o compuestos de mercurio;
- b) que contienen mercurio o compuestos de mercurio; o
- c) contaminados con mercurio o compuestos de mercurio,

en una cantidad que exceda los umbrales pertinentes definidos por la Conferencia de las Partes, en colaboración con los órganos pertinentes del Convenio de Basilea de manera armonizada, a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional o en el presente Convenio. Se excluyen de esta definición la roca de recubrimiento, de desecho y los desechos de la minería, salvo los derivados de la extracción primaria de mercurio, a menos que contengan cantidades de mercurio o compuestos de mercurio que excedan los umbrales definidos por la Conferencia de las Partes.

3. Cada Parte adoptará las medidas apropiadas para que los desechos de mercurio:

a) Sean gestionados, de manera ambientalmente racional, teniendo en cuenta las directrices elaboradas en el marco del Convenio de Basilea y de conformidad con los requisitos que la Conferencia de las Partes aprobará en un anexo adicional, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 27. En la elaboración de los requisitos, la Conferencia de las Partes tendrá en cuenta los reglamentos y programas de las Partes en materia de gestión de desechos;

b) Sean recuperados, reciclados, regenerados o reutilizados directamente solo para un uso permitido a la Parte en virtud del presente Convenio o para la eliminación ambientalmente racional con arreglo al párrafo 3 a);

c) En el caso de las Partes en el convenio de Basilea, no sean transportados a través de fronteras internacionales salvo con fines de su eliminación ambientalmente racional, de conformidad con las disposiciones del presente artículo y con dicho Convenio. En circunstancias en las que las disposiciones del Convenio de Basilea no se apliquen al transporte a través de fronteras internacionales, las Partes permitirán ese transporte únicamente después de haber tomado en cuenta los reglamentos, las normas y las directrices internacionales pertinentes.

4. La Conferencia de las Partes procurará cooperar estrechamente con los órganos pertinentes del Convenio de Basilea en el examen y la actualización, según proceda, de las directrices a que se hace referencia en el párrafo 3 a).

5. Se alienta a las Partes a cooperar entre sí y con las organizaciones intergubernamentales y otras entidades pertinentes, según proceda, a fin de crear y mantener la capacidad de gestionar los desechos de mercurio de manera ambientalmente racional a nivel mundial, regional y nacional.”

25. En relación con el párrafo 2 del artículo 11 del Convenio, la Conferencia de las Partes en el Convenio de Minamata, en su tercera reunión, aprobó la decisión MC-3/5 y en su cuarta reunión, la decisión MC-4/6 sobre los umbrales de los desechos de mercurio con los siguientes elementos fundamentales:

- a) No es necesario establecer ningún umbral para los desechos de mercurio contemplados en el apartado a) del párrafo 2 del artículo 11, y que los desechos incluidos en el cuadro 1 del anexo de la presente decisión se considerarán desechos de mercurio de ese tipo;
- b) No es necesario establecer ningún umbral para los desechos de mercurio contemplados en el apartado b) del párrafo 2 del artículo 11, y que los productos con mercurio añadido a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder, incluidos los que figuran en el cuadro 2 del anexo de la presente decisión, se considerarán desechos de mercurio de ese tipo;
- c) El grupo de expertos técnicos recomendará y facilitará una decisión sobre los desechos de mercurio recogidos en el apartado c) del párrafo 2 del artículo 11, en la quinta reunión de la Conferencia de las Partes o tan pronto como sea posible después de esta;

- d) En el cuadro 4 se presenta una lista indicativa de los desechos de mercurio recogidos en el apartado c) del párrafo 2 del artículo 11.
- e) Actualmente, no es necesario establecer umbrales para la roca de recubrimiento y de desecho de la minería, salvo en la extracción primaria de mercurio, y que los umbrales para los residuos de la extracción minera distintos de la extracción primaria de mercurio;
- f) Se definen los siguientes umbrales a dos niveles por encima de los cuales los residuos de la minería, salvo los derivados de la extracción primaria de mercurio, no quedan excluidos de la definición de desechos de mercurio formulada en el párrafo 2 del artículo 11:
- Umbral de primer nivel, que se aplicará de entrada: 25 mg/kg de contenido total de mercurio;
 - Umbral de segundo nivel, que se aplicará a los residuos que superen el umbral de primer nivel: 0,15 mg/l de lixiviado utilizando un método de ensayo adecuado que simule la lixiviación de mercurio en el lugar donde se depositen los residuos;
- g) No es necesario establecer ningún umbral para los residuos de la extracción de oro artesanal y en pequeña escala donde se emplee amalgamación de mercurio para extraer el oro del mineral y que todos los residuos de dicha extracción deben gestionarse de manera ambientalmente racional de conformidad con el artículo 7 y según los planes de acción nacionales que las Partes respectivas elaboren utilizando el documento de orientación para la elaboración de un plan de acción nacional para reducir y, cuando sea factible, eliminar el uso de mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala.

Cuadro 2: Lista de los desechos de mercurio que constan de mercurio o compuestos de mercurio (apartado a) del párrafo 2 del artículo 11), según figura en el cuadro 1 del anexo de la decisión MC-3/5

<i>Tipo de desechos</i>	<i>Fuente de los desechos^b</i>
Mercurio elemental recuperado ^c	Actividad minera: • Residuos de la extracción de oro artesanal y en pequeña escala Mercurio capturado de: • Procesos de calcinación y fundición de metales no ferrosos • Procesamiento de petróleo crudo y gas natural Tratamiento de: • Productos con mercurio añadido cuando se convierten en desechos • Desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio • Medios ambientales contaminados Tratamiento de los desechos de: • Producción de cloro alcali^d, alcoholatos (por ejemplo, metilato o etilato sódico o potásico), hidrosulfito y solución de hidróxido de potasio ultrapura con tecnología que usa mercurio, incluidas las instalaciones de desmantelamiento • Producción de poliuretano, monómeros de cloruro de vinilo y acetaldehído en la que se utiliza mercurio como catalizador
Mercurio elemental	Mercurio almacenado (por ejemplo, industrias, laboratorios, consultorios dentales, instituciones educativas y de investigación, instituciones gubernamentales, vertederos, basureros, faros)
Cloruro de mercurio (I) y cloruro de mercurio (II)	Procesos de calcinación y fundición de zinc, plomo, cobre y oro primarios Reactivo Electrodo de calomelanos para mediciones electroquímicas Medicina/fármacos Catalizador para el monómero de cloruro de vinilo - cloruro de mercurio (II) Existencias
Óxido de mercurio (II) (óxido mercúrico)	Baterías secas, pigmentos en pinturas y modificadores de vidrio, fungicidas, cosméticos, reactivos de laboratorio, pinturas antiincrustantes

<i>Tipo de desechos</i>	<i>Fuente de los desechos^b</i>
	Existencias
Sulfato de mercurio (II) (sulfato de mercurio)	Reactivo de laboratorio, catalizador utilizado para la producción de acetaldehído Existencias
Nitrato de mercurio (II) (nitrato de mercurio)	Agente oxidante, reactivo de laboratorio Existencias
Cinabrio concentrado	Extracción primaria de mercurio Existencias
Sulfuro de mercurio	Pigmento Estabilización de desechos de mercurio para su almacenamiento o eliminación Existencias

^a El Convenio define un compuesto de mercurio como toda sustancia que consiste en átomos de mercurio y uno o más átomos de elementos químicos distintos que puedan separarse en componentes diferentes solo por medio de reacciones químicas.

^b Una instalación o actividad en la que es probable que se generen o acumulen desechos.

^c Mercurio recuperado según se describe en el apartado b) del párrafo 3 del artículo 11.

^d Es posible que la recuperación ocurra sin tratamiento.

Cuadro 3: Lista no exhaustiva de desechos que contienen mercurio o compuestos de mercurio (apartado b) del párrafo 2 del artículo 11)^a, según figura en el cuadro 2 del anexo de la decisión MC-3/5

<i>Tipo de desechos</i>	<i>Fuente de los desechos^b</i>
Aparatos de medición no electrónicos que contienen mercurio (barómetros, higrómetros, manómetros, termómetros y esfigmomanómetros)	Hospitales, clínicas, instalaciones sanitarias (humanas y animales), farmacias, hogares, escuelas, laboratorios, universidades, instalaciones industriales, aeropuertos, estaciones meteorológicas, instalaciones de reciclaje de barcos
Interruptores eléctricos y electrónicos, contactos, relés y conectores eléctricos rotativos con mercurio	Instalaciones de desmantelamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (relés, conectores e interruptores), instalaciones industriales (conectadas a calderas), hogares, oficinas
Bombillas fluorescentes, bombillas con descarga de alta intensidad (HID) (bombillas de vapor de mercurio, bombillas de haluro metálico y bombillas de sodio de alta presión), lámparas de neón/argón	Hogares, instalaciones industriales y comerciales, instalaciones automovilísticas, puntos de recogida
Baterías y acumuladores que contienen mercurio	Hogares, instalaciones industriales y comerciales, puntos de recogida
Biocidas y plaguicidas que contienen mercurio y sus formulaciones y productos	Instalaciones agrícolas, hortícolas, industriales y comerciales (incluidos los almacenes), laboratorios
Pinturas y barnices que contienen mercurio	Instalaciones industriales y comerciales, hogares
Productos farmacéuticos que contienen mercurio para uso humano y veterinario, incluidas las vacunas	Instalaciones industriales y sanitarias (incluidos los almacenes), industria ganadera
Cosméticos y otros productos relacionados que contienen mercurio	Instalaciones industriales (incluidos los almacenes)
Amalgama dental	Consultorios dentales, escuelas de odontología, crematorios
Instrumento científico utilizado para la calibración de dispositivos médicos o científicos que contienen mercurio	Laboratorios, instituciones (incluidos los almacenes)

^a Los productos con mercurio añadido que figuran en la columna “tipo de desechos” de este cuadro se consideran desechos contemplados en el apartado b) del párrafo 2 del artículo 11 a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional o en el Convenio de Minamata.

^b Una instalación o actividad en la que es probable que se generen o acumulen desechos.

^c Incluye tanto las instituciones públicas como las privadas.

Cuadro 4: Lista indicativa de desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio (apartado c) del párrafo 2 del artículo 11)^a, según figura en el cuadro 3 de la decisión MC-3/5

<i>Tipo de desechos</i>	<i>Fuente de los desechos^b</i>
Desechos resultantes de la utilización de dispositivos de control de la contaminación industrial o la depuración de los gases industriales ^c	Gas de combustión de fuentes tales como: Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía Procesos de fundición y calcinación utilizados en la producción de metales no ferrosos Procesos de producción con impurezas de mercurio Recuperación de metales preciosos de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos Combustión de carbón Incineración y co-incineración de desechos Crematorios
Cenizas de fondo	Combustión de carbón Generación de energía y calor a partir de biomasa Incineración de desechos
Residuos del tratamiento de las aguas residuales, fangos de lavado ^d	Tratamiento de aguas residuales de: Extracción y uso de combustibles/energía Producción de productos con mercurio añadido Procesos de fabricación en los que se utiliza mercurio o compuestos de mercurio Producción primaria de metales no ferrosos Procesos de producción con impurezas de mercurio Recuperación de metales preciosos de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos Incineración, co-incineración y otros tratamientos térmicos de desechos Crematorios Servicios sanitarios Lixiviado en vertederos controlados Vertido no controlado de desechos Instalaciones agrícolas
Fango residual	Depósitos de separación y depósitos de arena sedimentaria para la refinación de petróleo crudo, producción y procesamiento de gas natural, perforación, limpieza de barcos, procesos químicos, etc. Tratamiento de desechos contaminados con mercurio (por ejemplo, precipitación química y oxidación química)
Catalizador de refinado de petróleo y gas	Refinado de petróleo crudo Procesamiento de gas natural
Residuos de la extracción minera y residuos del proceso de extracción	Extracción primaria de mercurio Extracción de oro artesanal y en pequeña escala
Escombros, detritos y tierra ^e	Construcción/demolición Rehabilitación de lugares contaminados
Otros desechos procedentes de procesos de fabricación en los que se utiliza mercurio o compuestos de mercurio ^f	Producción de cloro álcali con tecnología basada en el mercurio Producción de alcoholatos (por ejemplo, metilato o etilato sódico o potásico) Ditionita y solución de hidróxido de potasio ultrapura Producción de monómeros de cloruro de vinilo con catalizador de cloruro de mercurio (HgCl ₂) Producción de acetaldehído con catalizador de sulfato de mercurio (HgSO ₄), etc.
Otros desechos procedentes de la fabricación de productos con mercurio añadido	Fabricación de productos con mercurio añadido
Otros desechos procedentes de la depuración del gas natural ^h	Depuración del gas natural
Desechos procedentes de instalaciones de tratamiento de desechos ⁱ	Instalaciones de tratamiento de desechos

^a Los desechos que se incluyen en este cuadro se consideran desechos de mercurio cuando superan los umbrales establecidos. Los desechos que superen el umbral pero que no figuren en esta lista también se considerarán residuos de mercurio

^b Una instalación o actividad en la que es probable que se generen o acumulen desechos ^c Incluye filtros y carbón activado.

^c Incluye filtros y carbón activado.

^d Incluye filtros y resinas.

^e El suelo contaminado transportado fuera del emplazamiento se considera residuo.

f Células de mercurio, unidades de recuperación de mercurio (retorta), desechos de catalizadores, desechos resultantes del desmantelamiento o la demolición, equipos de protección personal, elementos utilizados para contener derrames de mercurio, etc.

g Desechos del proceso, desechos de demolición, etc.

h Incrustaciones removidas de las tuberías y del equipo de limpieza de tuberías, etc.

i Desechos tratados para estabilizar o solidificar el mercurio de residuos, revestimientos fluorescentes, metal y vidrio.

b) Otras disposiciones relativas a los desechos

26. En los párrafos 27 a 34 a continuación se describen otras disposiciones del Convenio de Minamata relativas a los desechos de mercurio.

27. En el artículo 3 del Convenio de Minamata se abordan las fuentes de suministro y comercio de mercurio. El párrafo 4 estipula que: “Cada Parte en cuyo territorio se estuvieran realizando actividades de extracción primaria de mercurio en la fecha de entrada en vigor del presente Convenio para ella permitirá esa extracción únicamente por un período de hasta 15 años después de esa fecha. Durante ese período, el mercurio producido por esa extracción solamente se utilizará en la fabricación de productos con mercurio añadido de conformidad con el artículo 4 o en los procesos de fabricación de conformidad con el artículo 5, o bien se eliminará de conformidad con el artículo 11, mediante operaciones que no conduzcan a la recuperación, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa u otros usos”. En el apartado b) del párrafo 5 se establece que “cada Parte adoptará medidas para asegurar que, cuando la Parte determine la existencia de exceso de mercurio procedente del desmantelamiento de plantas de producción de cloro-álcali, ese mercurio se deseche de conformidad con las directrices para la gestión ambientalmente racional a que se hace referencia en el párrafo 3 a) del artículo 11, mediante operaciones que no conduzcan a la recuperación, el reciclado, la regeneración, la utilización directa u otros usos”.

28. En el artículo 4 del Convenio se abordan los productos con mercurio añadido. En el párrafo 1 se enuncia que cada Parte “prohibirá, adoptando las medidas pertinentes, la fabricación, la importación y la exportación de los productos con mercurio añadido incluidos en la parte I del anexo A después de la fecha de eliminación especificada para esos productos, salvo cuando se haya especificado una exclusión en el anexo A o cuando la Parte se haya inscrito para una exención conforme al artículo 6.” En la parte I del anexo A¹⁵ se estipula que a partir del año 2020 o 2025 (es decir, en la fecha de eliminación) no estará permitida la producción, importación ni la exportación de los productos con mercurio añadido sujetos al párrafo 1 del artículo 4. En la parte I del anexo A se enumeran las baterías, interruptores y relés, lámparas fluorescentes compactas, lámparas fluorescentes lineales, lámparas de vapor de mercurio a alta presión, lámparas fluorescentes de cátodo frío y lámparas fluorescentes de electrodo externo, cosméticos, plaguicidas, biocidas y antisépticos de uso tópico, aparatos de medición no electrónicos, extensómetros para pletismógrafos; transductores de presión de fusión, transmisores de presión de fusión y sensores de presión de fusión, bombas de vacío de mercurio, equilibradores de neumáticos y contrapesos para ruedas, película y papel fotográficos, propulsor para satélites y naves espaciales, con ciertas condiciones y excepciones. Cabe señalar que no solo los desechos enumerados en el anexo A, sino también todos los demás productos con mercurio añadido, al convertirse en desechos, se clasifican como desechos de mercurio (desechos que contienen mercurio o compuestos de mercurio) en virtud del artículo 11.

29. En el artículo 4 del Convenio de Minamata también aborda las medidas para eliminar gradualmente el uso de la amalgama dental de mercurio. En el párrafo 3 se establece que “[l]as Partes adoptarán medidas en relación con los productos con mercurio añadido incluidos en la parte II del anexo A de conformidad con las disposiciones establecidas en dicho anexo”. En la parte II del anexo A se establece que las “medidas que ha de adoptar la Parte para reducir el uso de la amalgama dental tendrán en cuenta las circunstancias nacionales de la Parte y las orientaciones internacionales pertinentes e incluirán dos o más de las medidas que figuran en la lista” contenida en el anexo. Los desechos de amalgama dental y sus envases se clasifican como desechos que contienen mercurio en virtud del artículo 11. Además, en la decisión MC-3/2, se alienta a las Partes a tomar una medida adicional enumerada en la parte II del anexo A.

30. En el artículo 5 del Convenio de Minamata se aborda el uso de mercurio y de compuestos de mercurio en procesos de fabricación. En el párrafo 2 se enuncia que “[n]inguna Parte permitirá el uso de mercurio ni de compuestos de mercurio en los procesos de fabricación incluidos en la parte I del anexo B tras la fecha de eliminación especificada en dicho anexo para cada proceso, salvo cuando la Parte se haya inscrito para una exención conforme al artículo 6.” La parte I del anexo B incluye la producción de cloro-álcali y la producción de acetaldehído, en las cuales se utiliza mercurio o compuestos de mercurio como cátodo y catalizador, respectivamente. Además, en el párrafo 3 se establece que “cada Parte

¹⁵ La parte I del anexo A fue enmendada en virtud de la decisión MC-4/3, y estas enmiendas entrarán en vigor de conformidad con el artículo 27 (Aprobación y enmienda de los anexos) del Convenio de Minamata.

adoptará medidas para restringir el uso de mercurio o compuestos de mercurio en los procesos incluidos en la parte II del anexo B de conformidad con las disposiciones que allí se establecen". La parte II del anexo B incluye la producción de monómero de cloruro de vinilo, metilato o etilato de sodio o potasio y la producción de poliuretano en la que se utilizan catalizadores que contienen mercurio. Las medidas para reducir o controlar las emisiones y liberaciones de mercurio resultantes de los procesos de fabricación o producción en que se utilice mercurio o compuestos de mercurio pueden tener como resultado que se capturen y generen sustancias y residuos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio que deban ser tratados debidamente como desechos.

31. En el artículo 7 del Convenio de Minamata se prevé la reducción, y cuando sea viable la eliminación, del uso de mercurio y compuestos de mercurio y las emisiones y liberaciones al medio ambiente de mercurio procedente de la extracción y tratamiento de oro artesanales y en pequeña escala. El artículo 7 se aplica a esta última actividad y al procesamiento en el que se utiliza la amalgama de mercurio para extraer oro del mineral. Tales actividades pueden generar desechos que consisten en mercurio o compuestos de mercurio o que están contaminados con estos, como relaves y residuos del proceso de extracción.

32. En el artículo 8 del Convenio de Minamata se abordan las emisiones de mercurio o compuestos de mercurio a la atmósfera. En el párrafo 3 se establece que "[u]na Parte en la que haya fuentes pertinentes adoptará medidas para controlar las emisiones". Por "fuente pertinente" se entiende una fuente que entra dentro de una de las categorías enumeradas en el anexo D del Convenio. Entre las fuentes pertinentes enumeradas en el anexo D figuran las plantas de incineración de desechos, las centrales eléctricas de carbón; las calderas industriales de carbón; los procesos de fundición y calcinación utilizados en la producción de metales no ferrosos, y las fábricas de cemento clínker.

Es posible que las medidas y prácticas para el control de las emisiones de mercurio generen desechos sólidos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio

33. En el artículo 9 del Convenio de Minamata se abordan las liberaciones de mercurio al suelo y al agua. En el párrafo 3 se establece que "cada Parte determinará las categorías pertinentes de fuentes puntuales a más tardar tres años después de la entrada en vigor para ella del Convenio y periódicamente a partir de entonces". Las categorías pertinentes de fuentes puntuales son aquellas fuentes antropogénicas de liberaciones de mercurio que las Partes consideren significativas y que no se abordan en otras disposiciones del Convenio. En la decisión MC-3/4, la Conferencia de las Partes en el Convenio de Minamata proporciona orientación para la aplicación del artículo 9, tomando en cuenta que: "La obligación de velar por que la gestión ambientalmente racional de los desechos, recogida en el Convenio, incluya las liberaciones al suelo y el agua ;..." y que "Si bien las aguas residuales se abordan bajo el artículo 9, las Partes tal vez deseen controlar adicionalmente las aguas residuales con arreglo al artículo 11 del Convenio;...".

34. Por último, en el artículo 12 del Convenio de Minamata se establece que "[c]ada Parte procurará elaborar estrategias adecuadas para identificar y evaluar los sitios contaminados con mercurio o compuestos de mercurio" y que "La Conferencia de las Partes aprobará orientaciones sobre la gestión de sitios contaminados". Es posible que las actividades de rehabilitación de los sitios contaminados con mercurio generen desechos de mercurio. Esta orientación¹⁶ fue aprobada en la decisión MC-3/6 y puede actualizarse periódicamente.

2. Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA

35. En la parte III de la decisión 25/5, el Consejo de Administración del PNUMA pidió al Director Ejecutivo del PNUMA que, según procediese, coordinara con los gobiernos, las organizaciones intergubernamentales, los interesados directos y la Asociación Mundial sobre el Mercurio, la continuación y el fortalecimiento, como parte de las medidas internacionales sobre el mercurio, de la labor en marcha en una serie de esferas. La Asociación Mundial sobre el Mercurio ya ha seleccionado ocho prioridades de acción (o "esferas de modalidades de asociación").¹⁷ Una de estas esferas de asociación es la relativa a la gestión de los desechos de mercurio, iniciada en 2008 con el Ministerio de Medio Ambiente del Japón como entidad encargada. Entre otras cosas, la esfera de asociación relativa a la gestión de los desechos de mercurio ha determinado y agrupado proyectos a nivel de país por corrientes de desechos, y ha creado una lista de expertos en desechos de mercurio. Se han elaborado varios informes pertinentes que también están disponibles en el sitio web, incluido el documento de

¹⁶ "Guidance on the management of contaminated sites"
http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/forms-guidance/English/Guidance_Contaminated_Sites_EN.pdf.

¹⁷ Para más información, consulte: <http://web.unep.org/globalmercurypartnership/>.

consulta de 2015 *Practical sourcebook on mercury waste storage and disposal*¹⁸, y el catálogo de 2019 *Catalogue of technologies and services on mercury waste management*¹⁹.

3. Protocolo relativo a los metales pesados

36. El objetivo del Protocolo de 1998 relativo a los metales pesados de la Convención de 1979 sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia, enmendada en 2012, es controlar las emisiones antropógenas de metales pesados, incluido el mercurio, que son objeto de transporte transfronterizo a larga distancia en la atmósfera y probablemente tengan importantes efectos adversos en la salud humana o el medio ambiente. Las Partes en el Protocolo están en la obligación de reducir las emisiones de determinados metales pesados por debajo de los niveles de 1990 (o en otros años del período entre 1985 y 1995) aplicando las mejores técnicas disponibles en fuentes estacionarias, e imponiendo valores límite a las emisiones de determinadas fuentes estacionarias. Las Partes también tienen que establecer y mantener inventarios de las emisiones de los metales pesados sujetos al Protocolo. En el anexo VII del Protocolo figura una lista de los componentes eléctricos, dispositivos de medición, lámparas fluorescentes, amalgama dental, plaguicidas, pinturas y baterías que contienen mercurio para la aplicación de medidas recomendadas de manejo de los productos, incluyendo la sustitución, la reducción al mínimo, el etiquetado, incentivos económicos, acuerdos voluntarios y programas de recolección, reciclado o eliminación.

4. SAICM

37. El Enfoque estratégico para la gestión de productos químicos a nivel internacional (SAICM) consiste en una declaración ministerial (la Declaración de Dubái sobre la gestión de los productos químicos a nivel internacional), una estrategia de política global y un plan de acción mundial. El mercurio se aborda específicamente en el plan de acción mundial del SAICM en la esfera de trabajo 14 de la forma siguiente: “Mercurio y otros productos químicos que suscitan preocupación a nivel mundial; productos químicos producidos o utilizados en gran volumen; productos químicos sujetos a usos muy dispersivos; y otros productos químicos que causan preocupación a nivel nacional”; las actividades específicas comprendidas dentro de la esfera de trabajo son la reducción de riesgos, la necesidad de seguir adoptando medidas y el examen de la información científica. En 2006 se creó en el marco del SAICM un programa de inicio rápido para apoyar las actividades iniciales de la creación de capacidad y de aplicación en los países en desarrollo, los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países con economías en transición (PNUMA, 2006a). Hasta octubre de 2015 se habían implementado en el marco del programa de inicio rápido siete proyectos que incluían componentes del mercurio, como la campaña sobre la minimización del uso del mercurio y la elaboración de inventarios de productos que contienen mercurio, liberaciones de mercurio y explotaciones mineras (PNUMA, 2015d). El programa de inicio rápido se cerró en diciembre de 2019²⁰.

III. Orientaciones sobre el manejo ambientalmente racional

A. Consideraciones generales

38. El manejo ambientalmente racional es un concepto normativo general que los diferentes países, organizaciones y demás interesados directos entienden e implementan de diversas maneras. El Convenio de Basilea y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) han elaborado documentos de orientación internacionales y elementos de rendimiento fundamentales relativos al manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, los cuales deben ayudar a los interesados directos a aplicar el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, así como los desechos de mercurio según se definen en el Convenio de Minamata.

1. Convenio de Basilea

39. Si bien las disposiciones pertinentes al manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos conforme al Convenio de Basilea están enumeradas en el párrafo 15, las presentes directrices tienen como finalidad proporcionar una definición más precisa del manejo ambientalmente racional cuando se aplique a los desechos de mercurio, entre otras cosas, al definir los

¹⁸ https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9839/-Practical_Sourcebook_on_Mercury_Waste_Storage_and_Disposal-2015Sourcebook_Mercury_FINAL_web.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

¹⁹ <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/resources/tool/catalogue-technologies-and-services-mercury-waste-management-2021-version>.

²⁰ <http://www.saicm.org/portals/12/Documents/QSP/QSPFactsheet.pdf>.

métodos apropiados de tratamiento y eliminación de las corrientes de desechos de mercurio, que constituyen el manejo ambientalmente racional.

40. En su 11.^a reunión, celebrada en 2013, la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea aprobó el *Marco para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos*²¹. Dicho marco establece un entendimiento común respecto al alcance del manejo ambientalmente racional de los desechos y determina herramientas y estrategias para apoyar y promover la aplicación del manejo ambientalmente racional de los desechos. Su finalidad es servir de guía práctica a los gobiernos y otros interesados directos que participan en el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos y constituye la orientación más exhaustiva elaborada hasta el momento sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos, la cual complementa las diferentes directrices técnicas aprobadas en virtud del Convenio de Basilea.

41. En el contexto del Convenio de Basilea, el manejo ambientalmente racional es el objeto de varias disposiciones (véase la sección II A.1 *supra*) y las dos declaraciones siguientes:

a) La Declaración de Basilea de 1999 sobre el manejo ambientalmente racional, aprobada por la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea en su quinta reunión, insta a las Partes a que mejoren y vigoricen sus esfuerzos y cooperación para lograr el manejo ambientalmente racional, en particular, mediante la prevención, la reducción al mínimo, el reciclado y la eliminación de los desechos peligrosos y de otro tipo sujetos al Convenio de Basilea, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos, así como la disminución ulterior de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos sujetos al Convenio;

b) La Declaración de Cartagena sobre prevención, minimización y valorización de los desechos peligrosos y otros desechos, la cual fue emitida en 2011 y aprobada por la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea en su décima reunión, reafirma que el Convenio de Basilea es el principal instrumento jurídico mundial para orientar el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos y su eliminación.

42. Se han formulado recomendaciones basadas en los criterios de manejo ambientalmente racional para las computadoras conforme al mandato de la Asociación para la acción en materia de equipos de computadoras (PACE) del Convenio de Basilea.

2. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

43. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) aprobó una recomendación sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos que abarca aspectos como los elementos básicos de funcionamiento de las directrices sobre el manejo ambientalmente racional aplicables a las instalaciones de recuperación de desechos, que incluyen: elementos de funcionamiento que preceden a la recogida, el transporte, el tratamiento y el almacenamiento; y elementos posteriores al almacenamiento, transporte, tratamiento y eliminación de los residuos pertinentes (OCDE, 2004).

44. El manual de orientación para la aplicación de la recomendación de la OCDE sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos (OCDE, 2007) contiene más información al respecto.

3. Manejo del mercurio basado en el ciclo de vida

45. El concepto de manejo basado en el ciclo de vida puede ser un enfoque útil para promover el manejo ambientalmente racional de desechos de mercurio. El manejo basado en el ciclo de vida constituye un marco para analizar y gestionar la calidad de la sostenibilidad de los bienes y servicios. Empresas de todo el mundo lo están utilizando, por ejemplo, para reducir las huellas de carbono, de materias primas y del agua de sus productos, mejorar sus resultados sociales y económicos y lograr cadenas de valor más sostenibles (PNUMA y SETAC, 2009). Cuando se aplica el enfoque del manejo basado en el ciclo de vida al mercurio, los resultados deben evaluarse durante las etapas siguientes: producción de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio o de otros productos con métodos que usan mercurio; uso de dichos productos; recogida y transporte de los desechos; y eliminación de los desechos.

46. En el manejo del mercurio basado en el ciclo de vida, es importante establecer como prioridad la reducción del uso del mercurio en productos y procesos para reducir de esta forma el contenido de mercurio en los desechos resultantes de tales productos y procesos. Cuando se utilicen productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio, se deberá poner especial cuidado en prevenir la liberación de mercurio al medio ambiente. Los desechos que contienen mercurio o compuestos de

²¹

www.basel.int/Implementation/CountryLedInitiative/EnvironmentallySoundManagement/ESMFramework/tabid/3616/Default.aspx.

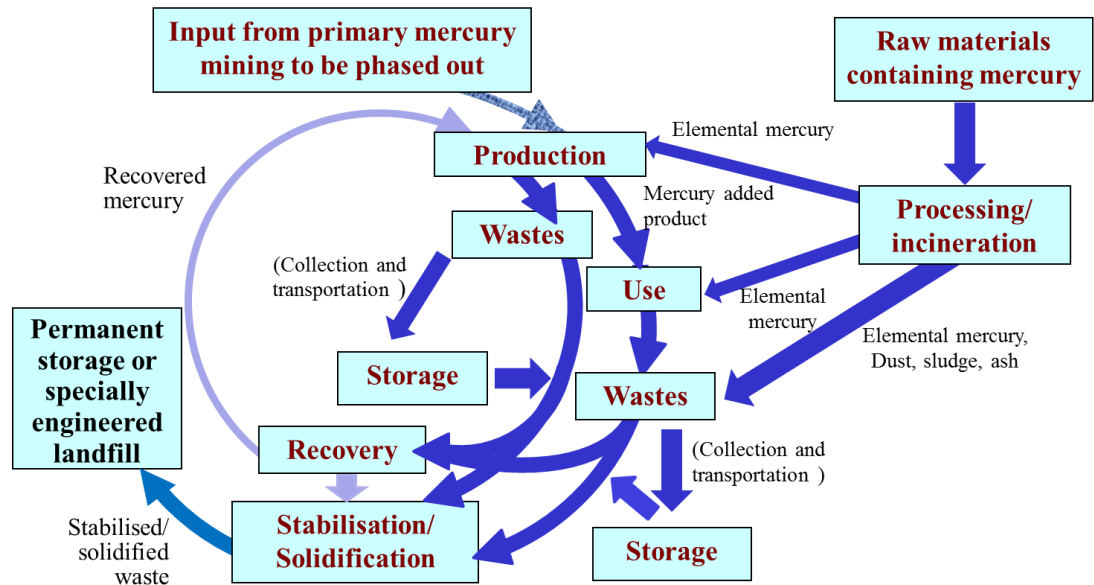
mercurio deberán tratarse ya sea a fin de recuperar el mercurio que contienen o de inmovilizarlos de manera ambientalmente racional²². Los desechos que están contaminados con mercurio o compuestos de mercurio pueden tratarse para recuperar el mercurio que contienen. En los casos en que el mercurio se recupera, el mercurio recuperado deberá eliminarse después de su estabilización y solidificación en un lugar de almacenamiento permanente o un vertedero diseñado especialmente²³. Otra alternativa para los que no sean Partes en el Convenio de Minamata es utilizar el mercurio recuperado, por ejemplo, como insumo de productos para los cuales no existen o no se dispone de alternativas que no utilicen mercurio o en los casos en que tenga que pasar un largo tiempo antes de que haya sustitutos para los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio; esta reutilización podría ayudar a reducir la producción de mercurio nuevo generado por la extracción minera primaria. En el caso de las Partes en el Convenio de Minamata, el mercurio recuperado puede utilizarse como insumo para los productos o procesos que aún están permitidos y respetando las condiciones pertinentes del Convenio de Minamata. Los desechos de mercurio se podrán almacenar, para su tratamiento o eliminación ulterior, o hasta que sea posible exportarlos a otros países para su eliminación (véase la figura 1 a continuación).

²² Para la recuperación de mercurio véase “G. 1 Procesos de recuperación de mercurio”. Para la inmovilización del mercurio véanse los párrafos 205 a 210 en “G. 2 Operaciones que no conducen a la recuperación de mercurio o compuestos de mercurio”.

²³ Para la estabilización y solidificación de los desechos que consisten en mercurio, véase “a) Estabilización y solidificación” en G. 2. Para la eliminación de desechos estabilizados y solidificados, véase “b) Eliminación en vertederos especialmente diseñados (D5)” y “c) Eliminación en almacenamiento permanente (instalaciones subterráneas) (D12)” en G.2.

Figura 1: Concepto básico del manejo del mercurio

“Prevent and minimize mercury release to the environment at each stage”



“Prevent and minimize mercury release to the environment at each stage” = “Prevenir y minimizar la liberación de mercurio al medio ambiente en cada etapa”

Input from primary mercury mining to be phased out = Insumo generado por la extracción minera primaria que cesará

Recovered mercury = Mercurio recuperado

Permanent storage or especially engineered landfill = Almacenamiento permanente o vertedero especialmente diseñado

Stabilised solidified waste = Desechos solidificados estabilizados

(Collection and transportation) = (Recogida y transporte)

Production = Producción

Wastes = Desechos

Use = Uso

Storage = Almacenamiento

Recovery = Recuperación

Stabilisation / Solidification = Estabilización / Solidificación

Elemental mercury = Mercurio elemental

Mercury added product = Producto con mercurio añadido

Raw materials containing mercury = Materias primas que contienen mercurio

Processing / incineration = Procesamiento / incineración

Elemental mercury, Dust, sludge, ash = Mercurio elemental, Polvo, fango, ceniza

47. El manejo de los desechos abarca la separación por fuentes, la recogida, el transporte, el almacenamiento y la eliminación (es decir, recuperación, solidificación, estabilización, almacenamiento permanente y eliminación en un vertedero diseñado especialmente). Cuando un gobierno proyecta recoger desechos de mercurio, también tiene que planificar los siguientes pasos en el manejo de los desechos, a saber, el almacenamiento y la eliminación.

B. Marco legislativo y reglamentario

48. Las Partes en el Convenio de Basilea deberán examinar sus controles, normas y procedimientos nacionales para asegurarse de que cumplen todas sus obligaciones contraídas en virtud del Convenio, incluidas las relacionadas con el movimiento transfronterizo y el manejo ambientalmente racional de los desechos de mercurio. Las Partes en el Convenio de Minamata también deberán examinar dichos controles, normas y procedimientos para asegurarse de que cumplen las obligaciones que emanan de dicho convenio en relación con los desechos.

49. La aplicación de la legislación deberá investir a los gobiernos de autoridad para promulgar y hacer cumplir las normas y reglamentos específicos, realizar inspecciones y establecer sanciones por las violaciones. La legislación sobre desechos peligrosos deberá establecer una definición de desechos peligrosos de conformidad con el Convenio de Basilea y el Convenio de Minamata, y la legislación relativa a los desechos de mercurio deberá definir los desechos de conformidad con el Convenio de Minamata. La legislación podría incluir una definición de manejo ambientalmente racional y exigir la adhesión a los principios de ese manejo, lo que aseguraría que los países cumplieren las disposiciones sobre manejo ambientalmente racional de los desechos de mercurio. Los componentes y las características específicos de un marco reglamentario que cumpla los requisitos del Convenio de Basilea y de los demás acuerdos internacionales se examinan a continuación.²⁴

1. Registro de los generadores de desechos

50. Uno de los métodos para facilitar el manejo ambientalmente racional de los desechos de mercurio es el establecimiento reglamentario de un registro de los generadores de este tipo de desechos. En este registro se deben incluir los generadores de desechos de mercurio a gran escala como plantas eléctricas, establecimientos industriales (por ejemplo, plantas de cloro-álcali que utilizan la tecnología de pilas de mercurio, instalaciones de producción de monómeros de cloruro de vinilo que utilizan mercurio como catalizador u operaciones de fundición), hospitales, clínicas médica y dentales, institutos de investigación, recolectores de desechos de mercurio, etc. Un tal registro de generadores de desechos de mercurio posibilitaría determinar el origen de los desechos, el tipo y volumen de los diferentes desechos de mercurio, así como las cantidades de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio utilizadas por los diferentes generadores de desechos.

51. Los reglamentos sobre los registros de los generadores de desechos de mercurio podrían exigir que los generadores de desechos declaren su nombre, dirección, el nombre del responsable, su tipo de empresa, la cantidad y el tipo de desechos de mercurio generados, así como información sobre los planes de recogida aplicables a los desechos y la manera en que estos son entregados a los recolectores y eliminados. Podría pedirse a los generadores de desechos que actualicen periódicamente y transmitan esta información a las autoridades (gobiernos centrales o locales). Sobre la base de los datos que se obtengan de los registros sobre los tipos y cantidades de desechos, las Partes podrían también crear programas de inventarios de desechos.

52. Los generadores de desechos de mercurio tendrán el deber de evitar las emisiones y las liberaciones de mercurio al medio ambiente mientras que los desechos no hayan sido entregados a los recolectores o enviados a una instalación de eliminación. Deberán cumplir estrictamente los requisitos jurídicos nacionales y locales en relación con el manejo de los desechos de mercurio y serán considerados responsables de reparar o indemnizar según lo estipule la legislación todo daño que causen a la salud o al medio ambiente durante el manejo de los desechos.

2. Reducción y eliminación del uso de mercurio en la extracción y tratamiento de oro artesanales y en pequeña escala, en productos y procesos industriales

53. La reducción y eliminación de la utilización del mercurio en la extracción y tratamiento de oro artesanales y en pequeña escala, en productos y procesos industriales es una de las maneras más eficaces de reducir las emisiones y liberaciones de mercurio al medio ambiente.

54. De conformidad con el artículo 7 del Convenio de Minamata, las Partes en el Convenio que emplean la extracción y tratamiento de oro artesanales y en pequeña escala y el procesamiento en sus territorios tendrán que emprender pasos para reducir y, cuando sea viable, eliminar el uso de mercurio y compuestos de mercurio y las emisiones y liberaciones de mercurio al medio ambiente provenientes de tales actividades de minería y procesamiento. Además, la Parte en el Convenio de Minamata que

²⁴ Los siguientes documentos contienen orientación adicional sobre los marcos reglamentarios del Convenio de Basilea: Modelo de legislación nacional sobre el manejo de desechos peligrosos y otros desechos, así como sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos y su eliminación (PNUMA, 1995a), Manual de aplicación del Convenio de Basilea (PNUMA, 2015b) y Convenio de Basilea: Guía para el sistema de control (PNUMA, 2015c).

determine que la extracción y tratamiento de oro artesanales y en pequeña escala y el procesamiento en su territorio son más que insignificantes, tendrá que elaborar y aplicar un plan nacional y revisar cada tres años el progreso alcanzado.

55. Los artículos 4 y 5 del Convenio de Minamata exige que las Partes cesen o eliminen gradualmente los productos con mercurio añadido y el uso de mercurio en procesos industriales específicos (véanse los párrafos 28-30 *supra*).

56. Los recuadros 1 a 3 presentan ejemplos de disposiciones regionales o nacionales sobre la reducción y eliminación gradual del uso de mercurio.

Recuadro 1 - Ejemplo regional: Unión Europea

La Directiva 2002/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, conocida como “Directiva RoHS (del inglés *Restriction of Hazardous Substances*) es un ejemplo de reglamentación para eliminar gradualmente el uso de mercurio en ciertos productos. La Directiva RoHS restringe el uso de mercurio y otras sustancias en equipos eléctricos y electrónicos, y si bien se pueden conceder exenciones cuando no haya disponibles alternativas satisfactorias (por ejemplo, algunos tipos de lámparas que contienen mercurio), la mayor parte de los equipos eléctricos y electrónicos que contienen mercurio se han eliminado gradualmente del mercado de la Unión Europea a partir de la entrada en vigor de la directiva el 1 de julio de 2006. La versión revisada de la Directiva RoHS entró en vigor el 21 de julio de 2011 (Unión Europea, 2011a).

Otro ejemplo de la Unión Europea es la Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de septiembre de 2006 relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, la cual prohíbe poner en el mercado todas las pilas y acumuladores, hayan sido o no incorporados a aparatos, que contengan más de 0,0005 % de mercurio en peso. Las baterías y acumuladores que se hayan puesto en el mercado legalmente antes de la fecha de aplicación de las prohibiciones que figuran en el artículo 4 de la Directiva, se podrán seguir comercializando hasta que se agoten las existencias (Unión Europea, 2006, Comisión Europea, 2014a).

Recuadro 2 - Ejemplo nacional: Canadá

Los reglamentos relativos a los productos que contienen mercurio de Canadá (*Products Containing Mercury Regulations*) prohíben la fabricación e importación de productos que contengan mercurio o cualesquiera de sus compuestos, con algunas exenciones de productos esenciales para los que no existen alternativas técnica o económicamente viables (Gobierno de Canadá, 2014).

Recuadro 3 - Ejemplo nacional: Noruega

Noruega impone la prohibición general del uso de mercurio en productos para garantizar que no se use mercurio en productos cuando existen alternativas²⁵. El reglamento prohíbe la fabricación, importación, exportación, venta y uso de sustancias o preparados que contengan mercurio o compuestos de mercurio, así como la fabricación, importación, exportación y venta de productos sólidos procesados que contengan mercurio o compuestos de mercurio. Por lo tanto, se espera que el reglamento reduzca la cantidad de productos en el mercado que contienen mercurio o compuestos de mercurio, además de las descargas de productos que inadvertidamente no se eliminaron como desechos peligrosos (Gobierno de Noruega, 2011).

3. Requisitos aplicables a los movimientos transfronterizos

57. Conforme al Convenio de Basilea, los desechos de mercurio objeto de movimientos transfronterizos que pertenecen a cualquiera de las categorías incluidas en el anexo I (véase cuadro 1) se considera que son desechos peligrosos a menos que, mediante pruebas nacionales, se pueda demostrar

²⁵ Reglamento sobre los productos de Noruega (sección 2.3 relativa al mercurio y compuestos de mercurio en el capítulo 2 sobre sustancias, preparados y productos regulados). Disponible en:

https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-922/KAPITTEL_2#KAPITTEL_2/

Se aplican exenciones especiales:

- Uso limitado (límites de concentración especificados) en empaques, pilas, algunos componentes en vehículos y en algún equipo eléctrico y electrónico, de conformidad con el Reglamento de la UE aplicado en Noruega.
- Las sustancias/preparados y los productos sólidos procesados cuyo contenido de mercurio o compuestos de mercurio sea menor que 0,001 % en peso.

que no presentan ninguna de las características enumeradas en el anexo III (lista de características peligrosas).

58. Si una Parte en el Convenio cuenta con una legislación nacional por la que se prohíba la importación de desechos de mercurio y ha comunicado la información de conformidad con el apartado a) del párrafo 1 del artículo 4, las demás Partes prohibirán o no permitirán la exportación de esos desechos a esa Parte. Además, en los casos en que el Estado importador no haya prohibido la importación de desechos de mercurio, las Partes en el Convenio prohibirán o no permitirán la exportación de esos desechos si el Estado importador no consiente por escrito a esa importación específica.

59. Las Partes incluidas en el anexo VII del Convenio (miembros de la Unión Europea, la OCDE y Liechtenstein), que están obligadas por la Enmienda sobre la Prohibición, prohibirán los movimientos transfronterizos hacia Estados no enumerados en el anexo VII de desechos peligrosos que no estén destinados a operaciones contempladas en la parte A del anexo IV y de desechos peligrosos comprendidos en el apartado a) del párrafo 1 del artículo 1 destinados a operaciones contempladas en la parte B del anexo IV²⁶.

60. El Convenio de Minamata también incluye una disposición sobre movimientos transfronterizos de desechos de mercurio en el párrafo 3 c) del artículo 11 (véase el párrafo 24 *supra*).

61. Los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos deben mantenerse en un mínimo que esté acorde con su manejo ambientalmente racional y eficiente, y llevarse a cabo de manera que proteja la salud humana y el medio ambiente de cualquier efecto adverso que puedan causar esos movimientos. Los movimientos transfronterizos de esos desechos se permitirán solo cuando:

- a) El país de exportación no cuente con la capacidad técnica ni las instalaciones, la capacidad o los lugares de eliminación necesarios para eliminar los desechos de que se trate de manera ambientalmente racional y con eficacia;
- b) Los desechos de que se trate se necesiten como materia prima para las industrias de reciclado o recuperación en el país de importación; o
- c) Los movimientos transfronterizos en cuestión cumplan los demás criterios que hayan decidido las Partes.

62. Todo movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y otros desechos deberá notificarse por escrito a las autoridades competentes de todos los países interesados en el movimiento (país de exportación, país de importación y, si procede, país de tránsito). Esta notificación incluirá las declaraciones y la información solicitada en el Convenio y se redactará en un lenguaje aceptable por el Estado de importación. Antes de que tenga lugar cualquier movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y otros desechos es menester el consentimiento previo por escrito del país de importación y el de exportación y, si procede, del país de tránsito, además de la confirmación de la existencia de un contrato en el que se especifique el manejo ambientalmente racional de los desechos entre el exportador y el dueño de la instalación de eliminación. Las Partes prohibirán la exportación de desechos peligrosos y otros desechos, si el país importador prohíbe su importación. En el Convenio se estipula también que la información relativa a cualquier embarque vaya acompañada de un documento relativo a ese movimiento desde el lugar donde comience el movimiento transfronterizo hasta su destino final.

63. Los desechos peligrosos y otros desechos objeto de movimientos transfronterizos deberán ser embalados, etiquetados y transportados de conformidad con las normas y los reglamentos internacionales²⁷.

64. Cuando un movimiento transfronterizo de desechos peligrosos o de otros desechos para el que los países que intervienen en él hayan dado su consentimiento no pueda llevarse a término de conformidad con las condiciones del contrato, el país de exportación velará por que los desechos en cuestión sean devueltos por el exportador al país de exportación si no se pueden lograr otros arreglos para eliminarlos de manera ambientalmente racional. Esto se hará dentro del plazo de 90 días a partir de la fecha de notificación del país de importación al país de exportación y a la Secretaría, o dentro de cualquier otro plazo que convengan los países interesados (artículo 8). En caso de tráfico ilícito (conforme al párrafo 1 del artículo 9), el país de exportación se cerciorará de que esos desechos les sean

²⁶ Para obtener información sobre la situación de las diferentes Partes con respecto a la enmienda, véase el Estado de las Ratificaciones en la página correspondiente del sitio web del Convenio de Basilea.

²⁷ Véase, por ejemplo, *Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas: Reglamentación Modelo* (Vigesimoprimer edición revisada) (Naciones Unidas, 2019a).

devueltos para su eliminación o de que sean eliminados de conformidad con las disposiciones del Convenio.

65. En caso de que el país de importación o cualquier país de tránsito que sea Parte en el Convenio lo solicite, los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y de otros desechos deberán estar cubiertos por un seguro, una fianza u otra garantía.

66. No se permitirán movimientos transfronterizos de desechos peligrosos u otros desechos entre una parte en el Convenio y un país que no sea Parte a menos que exista un arreglo bilateral, multilateral o regional, según se exige en el artículo 11 del Convenio. En la página web del Convenio de Basilea figuran los acuerdos bilaterales y multilaterales que han sido notificados a la Secretaría.²⁸

4. Autorización e inspección de las instalaciones para la eliminación

67. Los desechos de mercurio deberán ser eliminados en instalaciones que practican el manejo ambientalmente racional.

68. La mayoría de los países cuentan con una legislación o reglamentos específicos del sector que obliga a las plantas de eliminación de desechos a obtener autorizaciones o permisos de explotación para comenzar sus operaciones. Las autorizaciones o permisos de explotación podrán incluir condiciones específicas (por ejemplo, diseño de la planta y condiciones de funcionamiento) que se deberán mantener para que la autorización o el permiso mantenga su validez. Es posible que sea necesario añadir requisitos específicos para los desechos de mercurio con vistas a cumplir los requisitos del manejo ambientalmente racional, los requisitos específicos del Convenio de Basilea y tener en cuenta las recomendaciones y directrices relativas a las mejores técnicas disponibles, tales como las Directrices sobre las mejores técnicas disponible y la orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales elaboradas por el Convenio de Estocolmo, los documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles elaborados por la Unión Europea (conocidos como los documentos BREF) y las directrices relativas al sector de cloro-álcalis (Euro Chlor, 2004). Periódicamente se revisarán las autorizaciones o permisos de funcionamiento y, de ser necesario, se actualizarán para aumentar la protección laboral y ambiental mediante la aplicación de tecnologías nuevas o perfeccionadas.

69. Periódicamente autoridades independientes o asociaciones de control técnico deberán inspeccionar las instalaciones de eliminación a fin de verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en sus permisos. La legislación deberá prever también inspecciones extraordinarias cuando haya muestras de que las instalaciones de eliminación incumplen los requisitos del permiso.

C. Identificación e inventario

70. A fin de poder adoptar medidas eficaces para prevenir, reducir al mínimo y manejar los desechos de mercurio, es importante que las Partes identifiquen las fuentes que generan los desechos de mercurio y que cuantifiquen sus magnitudes y las concentraciones de mercurio en dichos desechos.

1. Identificación de las fuentes de desechos de mercurio

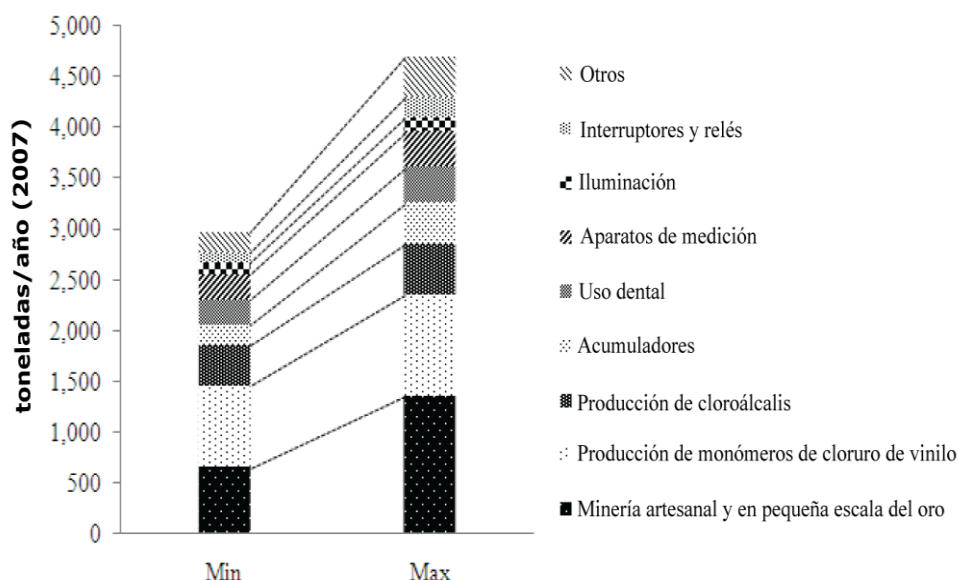
71. Si bien las fuentes de generación de desechos de mercurio varían de un país a otro, a nivel mundial las principales fuentes de desechos de mercurio son los procesos industriales que utilizan mercurio o compuestos de mercurio y los dispositivos que contienen mercurio que se han convertido en desechos. Otras fuentes importantes de desechos de mercurio son la producción, el procesamiento y la utilización de recursos naturales (por ejemplo, el procesamiento de minerales metalíferos no ferrosos, el procesamiento de petróleo y gas y la combustión de carbón). En la figura 2 se muestran las tendencias del uso mundial estimado de mercurio de 2005 a 2015 desglosado por aplicaciones. El sector donde más mercurio se utilizó fue la extracción de oro artesanal y en pequeña escala, seguida de la producción de monómeros de cloruro de vinilo y de cloruro de polivinilo y de la producción de cloro-álcalis hasta 2010. El mercurio también se utiliza en productos como pilas, amalgama dental, aparatos de medición, lámparas y dispositivos eléctricos y electrónicos, aunque la cantidad de mercurio utilizado en estas categorías varía según el país. En 2015 la cantidad total de mercurio utilizado a nivel mundial fue de 4 715 toneladas, la cual aumentó a partir de 2005 debido al incremento del uso de mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala, la producción de VCM, dispositivos de medición, lámparas y otros usos. Entretanto el uso de mercurio se redujo en la producción de cloro-álcalis, baterías y dispositivos eléctricos y electrónicos (PNUMA, 2017a).

²⁸ Para acuerdos bilaterales véase:

<http://www.basel.int/Countries/Agreements/BilateralAgreements/tabid/1517/Default.aspx>;

para acuerdos multilaterales véase:

<http://www.basel.int/Countries/Agreements/MultilateralAgreements/tabid/1518/Default.aspx>.

Figura 2: Tendencias del uso mundial estimado del mercurio en (PNUMA, 2017a)

72. Las fuentes, las categorías y los ejemplos de desechos de mercurio se resumen en el cuadro 5 a continuación.

73. Cabe señalar que en algunos países, algunas de las fuentes industriales presentadas en el cuadro 3 (Fuentes 1, 2, 3, 4 y 7, con excepción de los procesos de producción que utilizan mercurio) no utilizan mercurio ni generan desechos de mercurio. Los procesos industriales dependen de las condiciones tecnológicas y sociales del país, y estas determinarán si se pueden emplear procesos que no utilizan mercurio. Cabe señalar que cuando las operaciones de eliminación (por ejemplo, "8. Tratamiento de desechos que no sea la incineración" o "9. Deposición/vertido de desechos y tratamiento de aguas residuales") se incluyen en un inventario de desechos de mercurio, esto puede dar lugar a una sobreestimación, ya que los desechos de mercurio generados o las liberaciones de mercurio procedentes de dichas instalaciones pueden ser el resultado del mercurio contenido en los desechos que se tratan.

Cuadro 5: Fuentes, categorías y ejemplos de desechos de mercurio (PNUMA, 2002; 2005; 2006b; 2006c, decisión MC-3/5).

Fuente	Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos generados	Observaciones
1. Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía			
1.1. Combustión de carbón en termoeléctricas	C	C: Residuos de la limpieza de gases de combustión (cenizas volantes, partículas, agua de desecho/desechos líquidos, etc.), cenizas de fondo, lodos, catalizadores, agua de proceso, equipos de protección personal contaminados, desechos de lavado de equipos	Acumulación en cenizas de fondo y residuos de la limpieza de gases de combustión.
1.2. Combustión de carbón con otros fines	C		
1.3. Extracción y uso de otros combustibles fósiles	C		
1.4. Generación de electricidad y calor a partir de biomasa	C		
1.5. Extracción, refinación y uso de aceite mineral	A/C	A: Mercurio capturado del procesamiento de petróleo crudo y gas natural C: Residuos de la limpieza de gases de combustión (ceniza volante, partículas, aguas residuales/lodos,	- Acumulación en cenizas de fondo y residuos de la limpieza de gases de combustión; - Lodo de depósitos de separación y depósitos de arena sedimentaria para la

Fuente	Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos generados	Observaciones
		etc.), ceniza volante, catalizadores, agua de procesamiento, equipos de protección personal contaminados, desechos de lavado de equipos	refinación de petróleo crudo; • Lodo de la producción y procesamiento de gas natural; • Catalizador para refinación de petróleo crudo y procesamiento de gas natural.
1.6. Extracción, refinación y uso de gas natural	A/C		
2. Producción de metal primario (virgen)			
2.1. Extracción primaria y procesamiento del mercurio	A C	Concentrado de cinabrio Residuo de fundición, relaves	• Pirometalurgia del concentrado de mercurio
2.2. Procesamiento inicial de minerales metálicos(aluminio, cobre, oro, plomo, manganeso, zinc, metal ferroso primario y otros metales no ferrosos)	C	Relaves	• Trituración, molido, flotación y deshidratación del mineral para producir concentrado • .
2.3. Procesos de fundición/tostado de metales (aluminio, cobre, oro, plomo manganeso, zinc, metal ferroso primario y otros metales no ferrosos)	A C	Cloruro de mercurio (I) y cloruro de mercurio (II) recuperados de procesos de tostado y fundición Residuos de procesos de fundición/tostado, residuos de la limpieza de gases de combustión, residuos del tratamiento de aguas residuales	• Tratamiento térmico de concentrado • Tratamiento térmico de concentrado
3. Procesos de producción con impurezas de mercurio			
3.1. Producción de cemento	C	Residuos de procesos, residuos de la limpieza de gases de combustión, lodos	• Piroprocesamiento de materias primas y combustibles con impurezas de mercurio de origen natural
3.2. Producción de pulpa y papel			• Combustión de materias primas con impurezas de mercurio de origen natural
3.3. Hornos de producción de cal y de agregados livianos			• Calcinación de materias primas y combustibles con impurezas de mercurio de origen natural
4. Uso intencional del mercurio en procesos industriales			
4.1. Producción de cloro-álcalis con tecnología basada en el mercurio	A	Electrodos de desecho, existencias de mercurio	• Pila de mercurio;

Fuente		Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos generados	Observaciones
		C	Desechos sólidos contaminados por mercurio, residuos de procesos, suelo	• Unidades de recuperación de mercurio (retorta)
4.2.	Producción de alcoholados (por ejemplo, metilato o etilato de sodio o potasio), ditionita y solución de hidróxido de potasio ultrapuro	A	Electrodos de desecho, existencias de mercurio	• Pila de mercurio; • Unidades de recuperación de mercurio (retorta)
		C	Desechos sólidos contaminados por mercurio, residuos de procesos, suelo	
4.3.	Producción de monómeros de cloruro de vinilo con catalizador de cloruro mercúrico (HgCl ₂)	A	Catalizadores de desecho, existencias de catalizadores de mercurio	• Proceso con catalizadores de mercurio
		C	Residuos de procesos	
4.4.	Producción de acetaldehído con sulfato de mercurio (HgSO ₄) como catalizador	A	Catalizadores de desecho, existencias de catalizadores de mercurio	• Proceso con catalizadores de mercurio
		C	Aguas residuales	
4.5.	Producción de poliuretano con catalizador de mercurio	A	Catalizadores de desecho, existencias de catalizadores de mercurio	• Proceso con catalizadores de mercurio
		C	Materiales catalizados de desecho	
4.6.	Otra producción de sustancias químicas y productos farmacéuticos o catalizadores con compuestos de mercurio	A	Catalizadores de desecho, existencias de catalizadores de mercurio	• Proceso con catalizadores de mercurio
		C	Residuos de procesos, aguas residuales	
4.7.	Producción de los artículos mencionados en la sección 5 <i>infra</i>	A	Existencias de mercurio y compuestos de mercurio no utilizados para la producción	
		C	Residuos de procesos, aguas residuales	
5. Productos y aplicaciones con uso intencional del mercurio				
5.1.	Termómetros y otros dispositivos de medición con mercurio	B1	Productos usados, obsoletos o averiados	• Mercurio
5.2.	Interruptores, contactos y relés eléctricos y electrónicos con mercurio			
5.3.	Fuentes de luz con mercurio	B1	Productos usados, obsoletos o averiados	• Vapores de mercurio • Mercurio divalente adsorbido en el polvo de fósforo
5.4.	Pilas que contienen mercurio	B2		• Mercurio, óxido de mercurio

Fuente	Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos generados	Observaciones
5.5. Biocidas y plaguicidas	B1	Existencias de plaguicidas caducados, suelo y desechos sólidos contaminados por mercurio,	Compuestos de mercurio (principalmente cloruro de etilmercurio)
5.6. Pinturas	B1 C	Existencias de pinturas caducadas Desechos sólidos contaminados por mercurio, residuos del tratamiento de las aguas residuales	Acetato fenilmercúrico y compuestos de mercurio análogos
5.7. Productos farmacéuticos para uso humano y veterinario	B1 C	Existencias de medicamentos obsoletos Desechos médicos, residuos del tratamiento de aguas residuales de instalaciones agrícolas	- Timerosal; - Cloruro de mercurio; - Nitrato fenilmercúrico; - Mercurocromo, etc.
5.8. Cosméticos y productos afines	B2	Existencias de cosméticos y productos afines	- Yoduro de mercurio; - Mercurio amoniacal, etc.
5.9. Empastes de amalgama dental	B2 C	Existencias de amalgama dental Residuos de separadores de amalgama y del tratamiento de aguas residuales de clínicas dentales	Aleaciones de mercurio, plata, cobre y estaño
5.10. Instrumentos científicos utilizados para calibrar dispositivos médicos y científicos	B1	Productos usados, obsoletos o averiados	Mercurio
5.11. Productos químicos y equipo de laboratorio	A B1/B2/ C	Existencias de productos químicos de laboratorio Existencias de equipos de laboratorio Residuos del tratamiento de las aguas residuales, desechos de laboratorio	- Mercurio; - Cloruro de mercurio, etc.
5.12. Elastómeros de poliuretano	B2 C	Productos usados o al final de su vida útil Desechos de productos defectuosos y excedentes	Desechos de elastómeros que contienen compuestos de mercurio
5.13. Producción de esponja de oro o de oro a partir de fuentes	C	Relaves	Tratamiento térmico del oro;

Fuente		Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos generados	Observaciones
de extracción de oro artesanal y en pequeña escala				Procesamiento industrial
5.14.	Uso de mercurio metálico en ritos religiosos y en medicina tradicional	A	Mercurio utilizado para ritos religiosos	Mercurio
		C	Desechos sólidos,	
5.15.	Cojinetes de mercurio en faros	A	Cojinetes de mercurio de desecho, existencias	Mercurio
5.16.	Electrodos de calomelanos	B1	Productos usados u obsoletos	- Mercurio - Cloruro de mercurio
5.17.	Usos de productos varios, usos del mercurio metálico y otras fuentes	B1/B2	Existencias	- Semiconductores de detección infrarroja con mercurio; - Dilatadores esofágicos y sondas Cantor; - Usos educativos, etc.
		C	Residuos del tratamiento de las aguas residuales, desechos sólidos, escombros	
6. Producción de metal de segunda fusión				
6.1.	Recuperación de mercurio	A	Derrames durante el proceso de reciclado, existencias de mercurio recuperado	- Tratamiento de desechos de la producción de cloro-álcali, alcoholatos, ditionita y solución de hidróxido de potasio ultrapura con tecnología basada en el mercurio, incluyendo plantas de desmantelamiento - Tratamiento de desechos de la producción de poliuretano, monómeros de cloruro de vinilo, acetaldehído utilizando un catalizador que contiene mercurio - Recuperación de medidores de mercurio usados en los conductos de gas natural; - Recuperación a partir de manómetros, termómetros y otros equipos
		B1/B2	Desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio	
		C	Residuos del proceso de extracción, residuos de la limpieza de gases de combustión, residuos del tratamiento de las aguas residuales, medios ambientales contaminados	
6.2.	Recuperación de metales ferrosos	C		- Trituración de vehículos con interruptores de mercurio; - Fundición de materiales que contienen mercurio
6.3.	Recuperación de oro a partir de desechos electrónicos	A/C		Mercurio utilizado para amalgamación de oro en procesos de

Fuente		Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos generados	Observaciones
(tarjeta de circuitos impresos)				recuperación artesanal en pequeña escala; • Procesos térmicos
6.4.	Recuperación de otros metales, como cobre y aluminio	C		• Otros materiales, productos o componentes que contienen mercurio o compuestos de mercurio
7. Incineración de desechos				
7.1.	Incineración de desechos sólidos urbanos	C	Residuos de la limpieza de los gases de combustión, residuos del tratamiento de las aguas residuales, ceniza de fondo, ceniza volante	• Desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio y desechos del proceso; • Impurezas naturales de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.) y minerales
7.2.	Incineración de desechos peligrosos			
7.3.	Incineración de desechos médicos			
7.4.	Incineración de los fangos cloacales			
8. Tratamiento de desechos que no sea incineración				
8.1.	Tratamiento físico-químico de desechos de mercurio		Lodo, residuos del tratamiento de aguas residuales	Precipitación química y oxidación química de desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio
8.2.	Tratamiento térmico de desechos de mercurio		Residuos de la limpieza de gases de combustión	
8.3.	Otro tratamiento de desechos de mercurio		Residuos del tratamiento de aguas residuales, materiales contaminados con mercurio o compuestos de mercurio	Trituración y separación de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio
9. Depósito/vertimiento de desechos y tratamiento de las aguas residuales				
9.1.	Vertederos/depósitos controlados	C	Aguas residuales, residuos del tratamiento de aguas residuales, desechos sólidos contaminados por mercurio	• Resultados de la eliminación de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio y desechos de procesos; • Impurezas naturales de mercurio en materiales a granel (plásticos, latas, etc.) y minerales.
9.2.	Depósito difuso bajo determinado control			
9.3.	Eliminación local no controlada de desechos de la producción industrial			
9.4.	Vertimiento no controlado de desechos en general			
9.5.	Sistema/tratamiento de aguas residuales		Residuos del tratamiento de aguas residuales, fangos de lavado	• Mercurio utilizado intencionalmente en productos agotados y

Fuente	Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos generados	Observaciones
			desechos residuales; • Mercurio como trazas de contaminantes antropógenos en materiales a granel..
10. Crematorios y cementerios			
10.1. Crematorios	C	Residuos de la limpieza de gases de combustión, residuos del tratamiento de las aguas residuales	• Empastes de amalgama dental
10.2. Cementerios		Suelos contaminados con mercurio	
11. Rehabilitación de lugares contaminados			
11.1. Rehabilitación de lugares contaminados	C	Escombros, detritos y tierra contaminados con mercurio o compuestos de mercurio que se han excavado o retirado como parte de actividades de rehabilitación	

*A: Desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio; B: Desechos que contienen mercurio o compuestos de mercurio; C: Desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio.

74. Se puede obtener información más detallada acerca de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio (por ejemplo, nombres y fabricantes de productos específicos) de las siguientes fuentes:

- a) PNUMA, 2008b. Informe sobre los principales productos y procesos que contienen mercurio, sus productos sustitutivos y las experiencias en su sustitución;
- b) Comisión Europea, 2008. Opciones para reducir el uso de mercurio en productos y aplicaciones, y el destino del mercurio que ya está circulando en la sociedad;;
- c) Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA – *Mercury-Containing Products Partnership Area*²⁹;
- d) PNUMA, 2016. *Lessons de Countries Phasing Down Dental Amalgam Use*;
- e) Lowell Center for Sustainable Production, 2003. “An Investigation of Alternatives to Mercury-Containing Products”; y
- f) The Interstate Mercury Education and Reduction Clearinghouse (IMERC). Mercury-Added Products Database³⁰.

2. Inventarios

75. Los inventarios son un instrumento importante para identificar, cuantificar y caracterizar los desechos. Los inventarios nacionales pueden utilizarse para:

- a) Establecer parámetros de referencia de cantidades de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio producidos, distribuidos, comercializados o en uso, mercurio como mercancía, mercurio que contenga subproductos y desechos de mercurio;
- b) Establecer un registro de información que apoye las inspecciones reglamentarias y de la seguridad;
- c) Obtener información exacta necesaria para elaborar planes de gestión durante el ciclo de vida del mercurio;

²⁹ Informes y publicaciones, disponibles en: <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/what-we-do/mercury-products>.

³⁰ Véase <http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/notification>.

- d) Apoyar al hacer estimados sobre las cantidades de mercurio y compuestos de mercurio que requieren almacenamiento;
- e) Apoyar la preparación de planes de respuesta en casos de emergencia;
- f) Determinar los progresos logrados en la reducción y eliminación del mercurio en productos y procesos.

76. Tras identificar las fuentes y los tipos de desechos de mercurio, se deberán utilizar la información y las cantidades específicas de los procesos para calcular la cantidad de desechos procedentes de fuentes detectadas de diferentes tipos de desechos en un país (o zona, comunidad, etc.) en particular (PNUMA, 2019b).

77. En algunos casos es muy difícil reunir los datos necesarios para calcular las cantidades de desechos de mercurio generadas, en particular en los países en desarrollo y los países con economías en transición debido a la falta de datos, en particular cuando se trata de instalaciones en pequeña escala. En casos en que no sea viable contar con mediciones propiamente, se podrían reunir datos por medio de cuestionarios.

78. La *Guía metodológica para la realización de inventarios nacionales de desechos peligrosos en el marco del Convenio de Basilea* (UNEP, 2015a) deberá utilizarse al elaborar inventarios de desechos de mercurio.

79. También se puede utilizar el *Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio* (PNUMA, 2019b). Existen dos versiones del instrumental que corresponden a dos niveles de elaboración de inventarios (a saber, el simplificado y el exhaustivo). El instrumental tiene como propósito ayudar a los países a elaborar los inventarios nacionales de liberaciones de mercurio y proporciona una metodología normalizada acompañada de una base de datos para elaborar inventarios de mercurio nacionales y regionales coherentes. Cabe señalar que los factores predeterminados que se proponen en el Instrumental se han tomado de una base de datos limitada y, como tal, se deberá tener en cuenta que estarán sometidos a revisiones a medida que se incremente la base de datos. Por lo tanto, quizás sea apropiado revisar y confirmar, en la medida de lo posible, los datos específicos de la fuente principal respecto a las condiciones locales o nacionales, antes de tomar decisiones importantes sobre la aplicación de iniciativas de mitigación (PNUMA, 2019b). El instrumental se ha aplicado en varios países (PNUMA, 2008c) y en proyectos financiados por el FMAM. La capacitación en línea está disponible en la plataforma MercuryLearn³¹ creada por el PNUMA y UNITAR. La publicación de la ONUDI (2018) *Waste mercury perspective*³², también podría tomarse en consideración.

80. En consonancia con el enfoque de gestión basado en el ciclo de vida, se deberán determinar también los canales o vías por las que los desechos de mercurio puede liberarse al medio ambiente. Habida cuenta de los posibles riesgos de las liberaciones de mercurio al medio ambiente, se deberán clasificar los tipos de desechos por orden de prioridad para la adopción de medidas. Se precisará acopiar información sobre las posibles medidas para mitigar las liberaciones, en especial respecto de las fuentes y los tipos de desechos de mercurio que contengan grandes cantidades de mercurio y entrañen mayores riesgos de liberación de mercurio al medio ambiente. Luego se evaluarán las medidas en cuanto a la magnitud de las liberaciones de mercurio al medio ambiente que puedan ayudar a prevenirlas, los gastos administrativos y sociales, la disponibilidad de técnicas e instalaciones asociadas a estas medidas y su aceptabilidad social, entre otros aspectos.

81. En algunos países cada instalación posee un registro de emisiones y transferencias contaminantes (PRTR) para recopilar datos sobre el contenido específico de mercurio en los desechos y su transferencia (Kuncova y otros, 2007). Los datos del registro también están al acceso del público, aunque en muchos casos no constan para los años recientes.³³

D. Muestreo, análisis y vigilancia

82. El muestreo, el análisis y la vigilancia son elementos fundamentales del manejo de los desechos de mercurio. La labor de muestreo, análisis y vigilancia debe estar a cargo de profesionales calificados de conformidad con programas bien concebidos y utilizando los mismos métodos durante toda la duración de los programas. También deberán aplicarse medidas rigurosas de garantía y de control de calidad. Los errores en el muestreo, análisis o vigilancia o la desviación de los procedimientos

³¹ <https://mercurylearn.unitar.org/>.

³² <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-02/UNIDO%20Mercury%20Waste%20Forecast%202025.pdf>.

³³ Por ejemplo, en la República Checa el PRTR (disponible solo en checo en: <http://www.irz.cz>), contiene datos específicos sobre el mercurio y los compuestos de mercurio transferidos por los desechos al medio ambiente, así como datos sobre cómo se manipulan los desechos.

operacionales estándar puede hacer que se obtengan datos sin valor alguno o que incluso afecten el programa. Cada Parte, si procede, deberá elaborar normas para cerciorarse de que se imparta capacitación, se apliquen los protocolos y existan las capacidades de laboratorio para utilizar los métodos de muestreo, vigilancia y análisis, y se cumplan esas normas.

83. Debido a las múltiples razones que existen para el muestreo, el análisis y la vigilancia y a las muy diferentes formas físicas en que se presentan los desechos, se dispone de métodos muy diferentes de muestreo, análisis y vigilancia. Aunque analizar concretamente estos aspectos queda fuera del ámbito del presente documento, en las tres secciones siguientes se examinarán los elementos fundamentales que se deben incluir en las actividades de muestreo, análisis y vigilancia. Las prioridades de las pruebas de los desechos se deben establecer sobre la base del conocimiento existente (o de la falta de conocimiento) sobre el contenido de mercurio de los diferentes tipos de desechos (por ejemplo, es poco probable que realizar pruebas de lámparas de mercurio de desecho sea una gran prioridad, ya que se dispone fácilmente de gran cantidad de información sobre sus contenidos de mercurio).

84. En la serie de la OCDE se puede consultar información sobre buenas prácticas de laboratorio (OCDE, varios años). En relación con los aspectos metodológicos generales, el documento *Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure* (PNUMA y OMS, 2008) contiene información útil que se debe utilizar.

1. Muestreo

85. El objetivo general de cualquier actividad de muestreo es obtener una muestra que se pueda usar con el fin previsto, por ejemplo, la caracterización de sitio, el cumplimiento de normas reglamentarias o la determinación de la idoneidad de los métodos de tratamiento o eliminación propuestos. Este objetivo es preciso establecerlo antes de iniciar el muestreo. Es indispensable que se cumplan los requisitos de calidad del equipo, de transporte y trazabilidad.

86. Se deberán establecer y acordar procedimientos normalizados de muestreo antes de comenzar la campaña de muestreo (tanto de la matriz de mercurio como del mercurio específico). Los elementos de esos procedimientos son los siguientes:

- a) El número de muestras que se van a tomar, la frecuencia de muestreo, la duración del proyecto de muestreo y una descripción del método de muestreo (incluidos los procedimientos de garantía de la calidad existentes, es decir, uso de los contenedores de muestreo apropiados,³⁴ espacios en blanco apropiados y de los procedimientos de cadena de custodia);
- b) Selección de los lugares o los puntos en que se generan desechos de mercurio y el momento y la fecha de tomar la muestra (incluida la descripción y la ubicación geográfica);
- c) Identidad de la persona que toma la muestra y condiciones durante el muestreo;
- d) Descripción completa de las características de la muestra – etiquetado;
- e) Preservación de la integridad de las muestras durante el transporte y almacenamiento (antes del análisis);
- f) Cooperación estrecha entre el empleado que toma las muestras y el laboratorio analítico;
- g) Personal de muestreo debidamente capacitado.

87. El muestreo deberá ajustarse a la legislación nacional específica, de existir esta, o a las reglamentaciones y normas internacionales. En los países donde no existan reglamentaciones, se deberá designar al personal calificado. Los pasos del muestreo son los siguientes:

- a) Elaborar un procedimiento operacional único para el muestreo de cada una de las matrices para el posterior análisis del mercurio;
- b) Aplicar procedimientos de muestreo reconocidos, como los elaborados por la Organización Internacional de Normalización (ISO), el Comité Europeo de Normalización (CEN), el Organismo de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (SIMUVIMA) y la *American Society for Testing and Materials* (ASTM);
- c) Establecer procedimientos de garantía y control de la calidad.

88. Para que el programa se realice con éxito se deberán aplicar todas esas medidas. Asimismo, la documentación debe ser exhaustiva y rigurosa.

³⁴ Las botellas de polietileno son permeables al mercurio y no se deben utilizar. Para más detalles véase Parker y otros, 2005.

89. El mercurio puede estar presente en sólidos, líquidos, gases y en la biota, y de estos se podrán tomar muestras:

- a) Líquidos:
 - i) Lixiviado de vertederos y depósitos;
 - ii) Líquido recogido de derrames;
 - iii) Agua (agua superficial, agua potable y efluentes industriales);
- b) Sólidos:
 - i) Existencias de productos y formulaciones consistentes en mercurio o compuestos de mercurio, que los contienen o están contaminados con estos;
 - ii) Sólidos de fuentes y procesos industriales de tratamiento o eliminación (cenizas volantes, cenizas depositadas, líquidos residuales, sedimentos, otros residuos, ropa, etc.);
 - iii) Contenedores, equipo u otros materiales de empaque (muestras enjuagadas o secadas), incluidos los tejidos o telas usados en la recogida de muestras enjuagadas;
 - iv) Suciedad, sedimentos, escombros, aguas cloacales y abono orgánico;
- c) Gases:
 - i) Aire (en interiores) de instalaciones en que se manejan desechos de mercurio;
 - ii) Mercurio liberado al aire por el tratamiento de desechos de mercurio;
 - iii) Gas de combustión de incineradores de desechos;
- d) Biota:
 - i) Materiales biológicos (sangre, orina y pelo, especialmente en el caso de vigilancia de la salud de los trabajadores);
 - ii) Plantas y animales.

90. En los programas de vigilancia del medio ambiente y la salud humana, se pueden incluir tanto matrices bióticas como abióticas:

- a) Materias vegetales y alimentos;
- b) Cabello humano, orina, uñas, leche materna o sangre;
- c) Aire (ambiente, depósitos húmedos o secos o, posiblemente, nieve).

2. Análisis

91. Se entiende por análisis la extracción, purificación, separación, determinación, cuantificación y notificación de las concentraciones de mercurio en la matriz de interés. Con miras a obtener resultados significativos y aceptables, el laboratorio analítico deberá contar con la infraestructura necesaria (locales) y la experiencia probada con la matriz y el espécimen de mercurio (por ejemplo, participación satisfactoria en estudios de comparación entre laboratorios y en planes de pruebas de competencia externa).

92. También es importante que el laboratorio haya sido homologado conforme a la norma ISO 17025 u otras normas por un organismo independiente. Los criterios esenciales para obtener resultados de alta calidad son:

- a) Especificación de la técnica analítica utilizada;
- b) Mantenimiento del equipo analítico;
- c) Validación de todos los métodos utilizados (incluidos los métodos propios);
- d) Capacitación del personal de laboratorio.

93. Por regla general, el análisis del mercurio se lleva a cabo en laboratorios especializados. Para los fines de selección se dispone de aparatos de ensayo que se pueden usar sobre el terreno.

94. Para el análisis del mercurio no se dispone de un método analítico único. Los métodos para analizar las diversas matrices del mercurio, ya sea el contenido total de mercurio o la especiación del mercurio, han sido elaborados por la Organización Internacional de Normalización (ISO), el Comité Europeo de Normalización (CEN) a nivel internacional, y por el Ministerio de Ecología y Medio Ambiente de China (MEE), la Asociación de Normalización del Japón y la USEPA, a nivel nacional. En

el cuadro 6 se ofrecen algunos ejemplos de métodos de análisis del mercurio en los desechos, gases de combustión, aguas residuales y suelo. La mayoría de los métodos propios son variaciones de estos. Para todos los análisis químicos, los laboratorios solo deben utilizar métodos homologados y su eficacia deberá evaluarse mediante programas de garantía y control de la calidad.

Cuadro 6: Análisis químico del mercurio en desechos, gases de combustión, aguas residuales y suelos

Matriz o medio	Finalidad	Método
Desecho	Determinación de la movilidad del mercurio en los residuos	EN 12457-1 a 4 Caracterización de residuos. Lixiviación. Ensayo de conformidad para la lixiviación de residuos granulares y lodos (UNE, 2002a)
		EN 12920: Caracterización de residuos. Metodología para la determinación del comportamiento en la lixiviación de residuos en condiciones especificadas (CEN, 2006)
		EN 13656: Suelos, residuos biológicos tratados, lodos y residuos. Digestión con mezcla de ácido clorhídrico (HCl), ácido nítrico (HNO ₃), ácido tetrafluoroborato (HBF ₄) o ácido fluorhídrico (HF), para la posterior determinación de elementos (CEN, 2020)
		EN 14405: Caracterización de residuos. Ensayo de comportamiento en la lixiviación. Ensayo de percolación de flujo ascendente (bajo condiciones específicas) (CEN, 2017)
		HJ 702-2014. Residuos sólidos - Determinación de mercurio, arsénico, selenio, bismuto, antimonio - Disolución por microondas / Espectrometría de fluorescencia atómica (MEE de China, 2014)
		HJ/T 299-2007. Residuos sólidos - Procedimiento de extracción para toxicidad por lixiviación - Método de ácido sulfúrico y ácido nítrico (MEE de China, 2007a)
		HJ/T 300-2007. Residuos sólidos - Procedimiento de extracción para toxicidad por lixiviación - Método de solución tampón de ácido acético (MEE de China, 2007b)
		HJ 557-2010. Residuos sólidos - Procedimiento de extracción para toxicidad por lixiviación - Método de vibración horizontal (MEE de China, 2010)
		GB/T 15555.1-1995. Residuos sólidos - Determinación de mercurio total - espectrometría de absorción atómica en frío (MEE de China, 1995)
		<i>Leaching Environmental Assessment Framework (LEAF) How-To Guide</i> (USEPA, 2019)
		Método 1313 de la EPA - Partición en fases líquida-sólida como función de pH del extracto mediante el procedimiento de extracción de lote en paralelo ³⁵ (USEPA, 2017a)
		Método 1314 de la EPA - Partición líquido-sólido como función de la relación líquido-sólido de constituyentes en materiales sólidos mediante el procedimiento de columna de percolación de flujo ascendente ³⁵ (USEPA, 2017b)
		Método 1315 de la EPA - Tasas de transferencia de masa de constituyentes en materiales granulares monolíticos o compactados mediante un procedimiento de lixiviación en tanque semidinámico ³⁵ (USEPA, 2017c)
		Método 1316 de la EPA - Separación líquido-sólido como función de la relación líquido-sólido mediante el procedimiento de extracción por lotes en paralelo ³⁵ (USEPA, 2017d)

³⁵ Guía técnica para la aplicación de los métodos de prueba por lixiviación 1313 a 1316 de la USEPA (*Leaching Environmental Assessment Framework (LEAF) How-To Guide* (USEPA, 2019) disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-05/documents/final_leaching_environmental_assessment_framework_leaf_how-to_guide.pdf.

Matriz o medio		Finalidad	Método
		Determinación de las concentraciones de mercurio en los desechos	EN 13657: Caracterización de residuos, Digestión en agua regia para la determinación posterior de la porción de elementos en el residuo soluble (CEN, 2002b)
			EN 15309: Caracterización de residuos y suelo. Determinación de la composición elemental por fluorescencia de rayos X (CEN, 2007)
			HJ 702-2014. Residuos sólidos - Determinación de mercurio, arsénico, selenio, bismuto, antimonio – disolución en microondas/espectrometría de fluorescencia atómica (MEE de China, 2014)
			Método 7471B de la EPA: El mercurio en desechos sólidos o semisólidos (Técnica manual en frío y al vapor) (USEPA, 2007d)
			Método 7473 de la EPA: Mercurio en residuos sólidos y soluciones por descomposición térmica, amalgamación y espectrofotometría de absorción atómica (USEPA, 2007e)
			Método 7470A de la EPA: Mercurio en residuos líquidos (Técnica manual de vapor en frío (USEPA, 1994)
Gases de combustión			ISO 21741:2020 Emisiones de fuentes estacionarias: muestreo y determinación de compuestos de mercurio en gases de combustión mediante trampa de amalgamación de oro (ISO, 2020)
			EN 13211: Calidad del aire. Emisiones de fuentes estacionarias. Método manual de determinación de la concentración de mercurio total (CEN, 2001) *Este método determina el contenido de mercurio total (por ejemplo, Hg metálico/elemental + Hg iónico).
			EN 14884: Calidad del aire. Emisiones de fuentes estacionarias. Determinación de mercurio total. Sistemas automáticos de medida (CEN, 2005)
			HJ 543-2009. Emisión de fuentes estacionarias – Determinación de mercurio – Espectrofotometría por absorción atómica en frío (provisional) (MEE de China, 2009)
			HJ 917-2017. Emisión de fuentes estacionarias – Determinación de mercurio gaseoso total - Trampas absorbentes de carbono/Agrietamiento térmico Método espectrofotométrico de absorción atómica (MEE de China, 2017)
			JIS K 0222:1997 Métodos para determinar mercurio en gases de chimenea (JSA, 1997)
			Método 0060 de la EPA: Determinación de metales en emisiones de chimenea (USEPA, 1996)
			Para la especiación química del mercurio
Aguas residuales			ISO 12846:2012: Calidad del agua – Determinación del mercurio – Método por espectrometría de fluorescencia atómica (AAS) con y sin enriquecimiento (ISO, 2012)
			ISO 17852: 2006: Calidad del agua – Determinación del mercurio – Método por espectrometría de fluorescencia atómica (ISO, 2006)
Suelo			ISO 18400-104:2018 Calidad del suelo – Toma de muestras - Parte 104: Estrategias (ISO, 2018a)
			ISO 18400-202:2018 Calidad del suelo - Toma de muestras - Parte 202: Investigaciones preliminares (ISO, 2018b)
			ISO 18400-203:2018 Calidad del suelo - Toma de muestras - Parte 203: Investigación de lugares potencialmente contaminados (ISO, 2018c)

95. Además, se deberán establecer los procedimientos y criterios de aceptación para el almacenamiento, la manipulación y la preparación de la muestra en el laboratorio, por ejemplo, la homogeneización.

96. Los distintos pasos en la determinación analítica son:

- a) Extracción;
- b) Purificación;
- c) Identificación con detectores idóneos, como plasma de acoplamiento inductivo (ICP), la espectrometría de fluorescencia atómica, los analizadores de aminoácidos (AAS) e instrumentos compactos;
- d) Cuantificación y notificación de datos, según proceda;
- e) Presentación de informes según los reglamentos.

3. Vigilancia

97. En el apartado b) del párrafo 2 del artículo 10 (“Cooperación internacional”), el Convenio de Basilea exige a las Partes “cooperar en la vigilancia de los efectos del manejo de los desechos peligrosos sobre la salud humana y el medio ambiente”. En el apartado b) del párrafo 1 del artículo 19, el Convenio de Minamata pide a las Partes que cooperen, teniendo en consideración sus respectivas circunstancias y capacidades, en la elaboración y el mejoramiento de modelos y la vigilancia geográficamente representativa de los niveles de mercurio y compuestos de mercurio³⁶.

98. Se deben implementar programas de vigilancia para las instalaciones que manejan desechos de mercurio, ya que brindan una indicación de si una instalación está funcionando de acuerdo con su diseño y los reglamentos ambientales. La información obtenida mediante los programas de vigilancia deberá utilizarse para cerciorarse de que los diferentes tipos de desechos de mercurio se estén manipulando correctamente, para identificar posibles cuestiones relativas a posibles liberaciones de mercurio o exposiciones a éste, y determinar si podría ser conveniente modificar el enfoque del manejo.

99. Cabe señalar que en la red comercial ya se pueden adquirir algunos sistemas de medición continua del mercurio para algunos tipos de controles del mercurio. En la legislación nacional o local se pueden incorporar disposiciones relativas a esa vigilancia.

E. Prevención y reducción al mínimo de los desechos

100. La prevención y reducción al mínimo de los desechos de mercurio son los primeros pasos y los más importantes del manejo ambientalmente racional de esos desechos. En el párrafo 2 del artículo 4, el Convenio de Basilea llama a las Partes a “reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos...”. La prevención de los desechos debe constituir la opción preferida en toda política de manejo de desechos para así reducir la necesidad de gestionar desechos y permitir que los recursos del manejo ambientalmente racional sean utilizados de manera más eficaz. Los párrafos 102 a 133 a continuación proporcionan información sobre las vías de evitar y reducir al mínimo los desechos de mercurio procedentes de importantes fuentes de estos desechos.

101. En el artículo 5 del Convenio de Minamata se exige a las Partes la eliminación gradual del uso de mercurio en los procesos de producción de cloro-álcali y acetaldehído y la restricción del uso del mercurio en la producción de monómero de cloruro de vinilo, metilato o etilato de sodio o potasio, y la producción de poliuretano en que se utilizan catalizadores que contienen mercurio (para más detalles véase el párrafo 30 de las presentes directrices). En el artículo 4 del Convenio de Minamata se estipula que las Partes no permitirán la fabricación de ciertos productos con mercurio añadido y eliminarán el uso de amalgama dental (para obtener detalles, véanse los párrafos **Error! Reference source not found.** y 29 de las presentes directrices).

1. Prevención y reducción al mínimo de los desechos de procesos

102. Muchos procesos industriales generan desechos de mercurio. La minería artesanal y en pequeña escala del oro, la producción de monómeros de cloruro de vinilo y la producción de cloro y sosa cáustica (cloro-álcali) son las principales fuentes de generación de desechos de mercurio, ya que estos procesos utilizan intencionalmente grandes volúmenes de mercurio. Los procesos industriales en los que

³⁶ El proyecto de documento de orientación sobre la vigilancia del mercurio y los compuestos de mercurio para apoyar la evaluación de la eficacia del Convenio de Minamata (UNEP/MC/COP.4/INF/12) proporciona orientación sobre la vigilancia de las emisiones de mercurio a la atmósfera, la vigilancia del mercurio en la biota y la vigilancia biológica humana.

el mercurio no se usa intencionalmente también podrían generar desechos de mercurio cuando el mercurio está presente como impureza en sus insumos. Estos procesos pueden incluir, entre otros, los de plantas de energía de carbón/calderas industriales, procesos de fundición y tostado en la producción de metales no ferrosos y procesos de producción de petróleo crudo y gas natural. Por lo tanto, en la presente subsección se analizarán las medidas de prevención y reducción al mínimo de los desechos en relación con estos procesos.

a) Extracción de oro artesanal y en pequeña escala

103. De conformidad con el artículo 7 del Convenio de Minamata, las Partes que realicen actividades de extracción y procesamiento de oro artesanal y en pequeña escala en sus territorios en que se utilice amalgama de mercurio para extraer oro del mineral, tomarán medidas para reducir y, cuando sea factible, eliminar el uso de mercurio y compuestos de mercurio, y la emisión y liberaciones de mercurio al medio ambiente a partir de dicha extracción y procesamiento. La Conferencia de las Partes en el Convenio de Minamata, en la decisión MC-1/13, aprobó un documento de orientación³⁷ sobre la elaboración de planes de acción nacionales para ayudar a las Partes a cumplir sus obligaciones en virtud del artículo 7 y enmendó el documento de orientación contenido en la decisión MC-4/4 adicionando un nuevo capítulo³⁸ donde se presentan recomendaciones clave sobre la gestión de los relaves de esa extracción y se hace referencia a un documento técnico más detallado³⁹.

104. Existen técnicas que no utilizan mercurio, como los métodos gravimétricos, y que se combinan con métodos que no utilizan mercurio. En el sitio web de la Asociación Mundial sobre el Mercurio hay disponibles guías específicas como las siguientes, en el ámbito de la extracción de oro artesanal y en pequeña escala⁴⁰.

a) PNUMA, 2018a. *Illustrated Guide to Mercury Free Artisanal and Small Scale Gold Mining*;

b) PNUMA, 2017b. *A path to mercury-free artisanal and small scale gold mining* (video).

105. En los casos en que no se dispone de alternativas viables, se deberán utilizar soluciones provisionales que faciliten la introducción de técnicas que no utilizan mercurio, como pueden ser las tecnologías de captura y reciclado del mercurio, como retortas y campanas de ventilación, la reactivación del mercurio y la no utilización de procedimientos que requieren mucho mercurio, como la amalgamación de la mena completa. En los siguientes materiales de consulta se puede obtener información más detallada sobre estas soluciones provisionales:

a) Artisanal Gold Council, 2014. *Using Retorts to Reduce Mercury Use, Emissions, and Exposures in Artisanal and Small-Scale Gold Mining: A practical Guide*;

b) USEPA (2013): *Manual for the Construction of a Mercury Capture System for Use in Gold Processing Shops*.

106. Los mineros artesanales, sus familias y las comunidades vecinas de los centros de operaciones de extracción minera deberán conocer los riesgos de la exposición al mercurio y los peligros implícitos para la salud y los efectos ambientales del uso del mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala.

107. Una vez que haya aumentado el conocimiento sobre los riesgos ambientales y para la salud que entraña la utilización del mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala, se deberá impartir capacitación en técnicas y sistemas para prevenir la generación de desechos.

b) Producción de monómeros de cloruro de vinilo

108. La producción de monómeros de cloruro de vinilo mediante el proceso del acetileno implica el uso de cloruro mercúrico como catalizador. De conformidad con el párrafo 3 del artículo 5 en relación con el anexo B del Convenio de Minamata, las Partes en dicho Convenio tomarán medidas para reducir el uso de mercurio en términos de producción por unidad en un 50% antes del año 2020 en relación con el uso en 2010. Además, las Partes promoverán medidas para reducir la dependencia del mercurio procedente de la extracción primaria y adoptarán medidas para reducir las emisiones y liberaciones de

³⁷ Documento de orientación sobre la elaboración de un plan de acción nacional para reducir y, cuando sea posible, eliminar el uso del mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala.

http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/forms-guidance/Spanish/ASGM_guidance_e_2017.pdf.

³⁸ “Nuevo capítulo 8 del documento de orientación para la preparación de un plan de acción nacional para reducir y, cuando sea posible, eliminar el uso del mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala” (UNEP/MC/COP.4/6, anexo II).

³⁹ *Sound tailings management in ASGM: Technical Document* (UNEP/MC/COP.4/INF/6, anexo).

⁴⁰ Véase <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/what-we-do/artisanal-and-small-scale-mining-asgm>.

mercurio al medio ambiente. Los métodos para prevenir y reducir al mínimo los desechos de mercurio en la producción de monómeros de cloruro de vinilo corresponden a dos categorías primordiales: a) métodos alternativos de fabricación que no utilizan mercurio; y b) métodos para gestionar mejor el mercurio durante el proceso de producción y capturar las liberaciones de mercurio al medio ambiente.

109. En la producción de monómeros de cloruro de vinilo sin utilizar mercurio, el monómero de cloruro de vinilo se fabrica con diversos métodos que no utilizan mercurio, que se basan de ordinario en la oxiclорación del etileno (*Office of Technology Assessment*, 1983). Pese a que los métodos que no utilizan mercurio son comunes en todo el mundo, en algunos países el proceso con acetileno se sigue utilizando porque es mucho menos costoso en lugares donde el carbón es más barato que el etileno (Maxson, 2011). Los esfuerzos realizados por crear un catalizador que no utilice mercurio para el proceso con acetileno dieron como resultado el desarrollo (por Johnson Matthey) de un catalizador sin mercurio para la producción de monómeros de cloruro de vinilo que ha sido comercializado. Este es económicamente viable y puede utilizarse como sustituto directo de los catalizadores que se utilizan actualmente en los reactores de monómeros de cloruro de vinilo.⁴¹

110. Entre las medidas propuestas para reducir la generación de desechos contaminados con mercurio se encuentran: mejor gestión del mercurio; desarrollo y aplicación de un catalizador con bajo contenido de mercurio; aplicación de reformas tecnológicas para prevenir la evaporación del cloruro mercúrico; prevención de venenos de los catalizadores; y aplazamiento de la deposición de carbono para reducir el uso del mercurio. Para obtener más información véase el *Informe del proyecto sobre la reducción del uso y las emisiones de mercurio en la producción de PVC a base de carburo* (Ministerio de Protección Ambiental de China, 2010), así como la publicación *Global mercury supply, trade and demand* (PNUMA, 2017a).

c) Producción de cloro-álcali

111. La producción de cloro-álcali utilizando la celda de mercurio implica el uso de mercurio elemental como electrodo. De conformidad con el párrafo 2 del artículo 5 en relación con el anexo B del Convenio de Minamata, las Partes en ese Convenio eliminarán gradualmente el uso de mercurio en la producción de cloro-álcali para el año 2025, excepto cuando la Parte haya registrado una exención. A medida que el proceso de fabricación de pilas de mercurio es reemplazado por procesos que no utilizan mercurio en las instalaciones de cloro-álcali, se van eliminando las emisiones de mercurio y la generación de desechos en estas instalaciones. La producción de cloro-álcali sin la utilización de mercurio emplea procesos ya sea de diafragma o de membrana. Los procesos de membrana son más eficaces en función de los costos que los de membrana, debido a que demandan menor consumo de electricidad (Maxson, 2011). Aunque el proceso de fabricación de pilas de mercurio está siendo eliminado, todavía en 2019 había 12 plantas que utilizaban este procedimiento en seis países. En 2012 los desechos sólidos generados por esas plantas de cloro-álcali ascendieron a 10 113 kg en 2019 (Asociación Mundial sobre el Mercurio, 2020).

112. Los desechos contaminados con el mercurio generado por las plantas de cloro-álcali pueden ser fangos cloacales semisólidos resultantes del tratamiento con agua, salmuera y sosa cáustica, el grafito y el carbono activado del tratamiento de gases, los residuos de la destilación en retortas y el mercurio recogido en tanques/sumideros. Además de la vigilancia de posibles fugas y de una buena administración, la generación de desechos de mercurio pudiera disminuir mediante la reducción de la evaporación del mercurio y un mejor control de las emisiones de mercurio, la recuperación del mercurio de las aguas residuales y del tratamiento de los gases de combustión y de la sosa cáustica. En los siguientes documentos de consulta o sitios web se puede obtener más información:

a) Comisión Europea, 2013a. *Decisión de ejecución de la Comisión de 9 de diciembre de 2013 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores tecnologías disponibles (MTD) para la producción de cloro-álcali conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las emisiones industriales* (2013/732/EU);

b) Comisión Europea, 2014b. *Documento de Referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para la producción de cloro-álcali*;

c) Asociación Mundial sobre el Mercurio, recursos del Sector de cloro-álcali⁴²;

113. Al dismantelar plantas de celdas de mercurio, se recomienda desarrollar un plan de dismantelamiento en consulta con contratistas externos, según corresponda. La fase de aplicación del

⁴¹ Véase <https://matthey.com/en/products-and-services/chemical-processes/licensed-processes/vinyl-chloride-monomer-process>.

⁴² Véase <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/what-we-do/mercury-cell-chlor-alkali-production> (esta página web contiene el enlace de los recursos para la industria del cloro-álcali).

plan de desmantelamiento puede incluir la instalación de un área de trabajo, el vaciado de las celdas y el manejo del mercurio metálico, así como el desmantelamiento, la demolición y la descontaminación de equipos y edificios. También se recomienda utilizar uno o una combinación de oxidación e intercambio iónico, oxidación y precipitación y reducción y adsorción en carbón activado para reducir las liberaciones de mercurio durante el desmantelamiento o la conversión de plantas de celdas de mercurio⁴³.

d) Centrales eléctricas de carbón y calderas industriales de carbón

114. El lavado del carbón es un proceso principalmente para reducir las cenizas, las partículas y el contenido de azufre del carbón a fin de mejorar su poder calorífico. Se considera una técnica económica y eficaz para minimizar los problemas ambientales conexos (Zhao y Luo, 2017). La eliminación de impurezas minerales también reduce los costos de operación y mantenimiento y ralentiza el deterioro del sistema de caldera (PNUMA, 2019c). Este proceso también puede disminuir el contenido de mercurio del carbón, lo que conduce a la reducción de los desechos de mercurio. Generalmente, tal disminución es mayor en el caso de los carbones bituminosos que en el de los carbones/lignito de rango inferior, ya que en los carbones de rango inferior es probable que una mayor fracción de mercurio esté unida a la estructura del carbón orgánico (Comisión Europea, 2017a). La eliminación del mercurio del carbón es factible cuando se emplean los métodos convencionales de lavado de carbón. Sin embargo, la eficacia de la eliminación del mercurio durante el lavado convencional del carbón varía mucho según la fuente del carbón y la naturaleza del mercurio que contiene (PNUMA, 2019c). Cabe señalar que el lavado de carbón puede generar lodos de desecho contaminados con mercurio.

115. La mezcla de carbón es una opción económicamente eficaz para reducir la cantidad relativa de mercurio, ya que algunos rangos de carbón tienen formas de mercurio más oxidadas. La mezcla de carbón puede aumentar las concentraciones de haluros, aumentando así la proporción de mercurio oxidado que se hace más fácil de capturar mediante un depurador de desulfuración de gases de combustión (Comisión Europea, 2017a), ya que el mercurio oxidado es soluble en agua.

e) Procesos de fundición y tostado en la producción de metales no ferrosos

116. El contenido de mercurio de los concentrados de metales no ferrosos varía considerablemente según las áreas de extracción de minerales. El contenido de mercurio de los concentrados de metales no ferrosos contribuye directamente al aporte de mercurio a los procesos de fundición y tostado y también a las emisiones y liberaciones resultantes. Siempre que sea posible se debe dar prioridad al uso de concentrados con bajo contenido de mercurio, mientras se cumplan las especificaciones de producción a fin de minimizar la generación de desechos de mercurio. La mezcla de concentrados con bajo contenido de mercurio de diferentes fuentes es una opción alternativa para controlar el aporte de mercurio a los procesos y reducir la salida de mercurio al medio ambiente. La mezcla de concentrados con bajo contenido de mercurio de diferentes fuentes es una opción alternativa para controlar la entrada de mercurio en los procesos y reducir la salida de mercurio al medio ambiente (Zhang *et al.*, 2019).

f) Procesamiento de petróleo crudo y gas natural

117. El mercurio está presente de forma natural en el gas natural, el petróleo crudo y el betún, pero la concentración de mercurio varía significativamente según los reservorios y las áreas geográficas. Las instalaciones de procesamiento de petróleo crudo y gas natural generan varios tipos de desechos de mercurio, como mercurio elemental de desecho, catalizadores y adsorbentes usados y lodos. Una forma de reducir los desechos de mercurio es devolver los catalizadores y adsorbentes usados a los fabricantes para su reciclado.

2. Prevención y reducción al mínimo de los desechos de productos que contienen mercurio y compuestos de mercurio

118. La introducción de alternativas que no contienen mercurio y la prohibición de los productos que contienen mercurio y compuestos de mercurio son maneras importantes de prevenir la generación de desechos de mercurio. Conforme al Convenio de Minamata, la fabricación, exportación e importación de productos con mercurio añadido específicos estará prohibida a partir del año 2020 (véase el párrafo 28 *supra*). El artículo 4, junto con el anexo A del Convenio de Minamata, prevé la eliminación gradual de algunos productos con mercurio agregado (por ejemplo, ciertas baterías e interruptores de mercurio, ciertas lámparas, plaguicidas, biocidas y antisépticos) y la eliminación gradual del uso de mercurio en la amalgama dental.

⁴³ Según la Comisión Europea (2014b), las medidas aquí descritas permiten reducir las liberaciones de mercurio hacia el agua hasta un valor de 3-15 µg/l, expresado en Hg, a la salida de la unidad de tratamiento de mercurio durante el desmantelamiento o conversión.

119. Como medida de transición, el establecimiento de límites máximos al contenido de mercurio en los productos para los que en el futuro previsible no se dispone de alternativas sin mercurio ayudaría a reducir la generación de desechos de mercurio del sector de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio. La adquisición de productos no contaminantes puede facilitar la sustitución de los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio por alternativas que no contienen mercurio o contienen poco mercurio.

120. Cuando todavía se utilicen productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio, es conveniente establecer un sistema cerrado seguro para la utilización del mercurio. Se deberá prevenir la contaminación por mercurio de las corrientes de desecho mediante:

- a) El uso de productos que no contengan mercurio;
- b) El establecimiento de límites máximos al contenido de mercurio en los productos; y
- c) La fijación de normas de adquisición para adquirir productos que no contienen mercurio y productos con bajo contenido de mercurio.

121. Los programas de responsabilidad ampliada de los productores pueden ser instrumentos eficaces para alentar la fabricación de productos que no contienen mercurio o con bajo contenido de mercurio.

a) Productos que no contienen mercurio

122. La sustitución del mercurio en los productos depende de factores como la eficacia o el desempeño de los sustitutos, el costo de los sustitutos y el costo total del producto, los efectos en el medio ambiente y la salud humana de los sustitutos, la tecnología, las políticas oficiales y las economías de escala. Ya se dispone de muchos tipos de alternativas que no contienen mercurio. En las publicaciones y sitios web que se indican a continuación figura información pormenorizada acerca de las alternativas que no contienen mercurio:

- a) Información sobre los usos del mercurio y sobre las alternativas sin mercurio en “Examen de los anexos A y B” del Convenio de Minamata⁴⁴;
- b) “Muchos productos aún contienen mercurio. Estas alternativas podrían reemplazarlos” (sitio web del PNUMA⁴⁵;
- c) *Guía técnica – Reemplazo de los termómetros y de los tensiómetros de mercurio en la atención a la salud* (OMS, 2011)
- d) “Listings of Alternatives for Mercury Added and Mercury Contaminated Products” en el sitio web del Instituto Nacional de Salud del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU.⁴⁶.

b) Establecimiento de límites máximos al contenido de mercurio en los productos

123. El artículo 4 junto con el anexo A del Convenio de Minamata establece los siguientes límites al contenido de mercurio para ciertos productos con mercurio añadido. Para obtener más detalles véase el párrafo 28.

124. Se deberán establecer límites al contenido de mercurio para los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio hasta que esos productos se puedan eliminar. Tales límites supondrían la utilización de menos mercurio por producto en la etapa de producción, lo que, a su vez, podría dar lugar a menores emisiones de mercurio durante todo el ciclo de vida del producto incluidas las generadas por la liberación accidental o roturas, y reduciría la cantidad total de mercurio en los desechos que requieren un manejo específico para el mercurio.

125. Los límites del contenido de mercurio en los productos se pueden establecer por legislación (véanse ejemplos en la sección III.B.2 *infra*) o mediante medidas industriales voluntarias en el marco de planes de gestión ambiental y del mercurio. Como ya se dijo, se han establecido requisitos legales en cuanto a los límites del contenido de mercurio en acumuladores y lámparas fluorescentes en la Unión Europea y en la Argentina, así como en varios estados de los EE. UU. para los acumuladores. En el Japón, una asociación industrial ha establecido los límites del contenido de mercurio en las lámparas fluorescentes, y el Gobierno nacional ha aplicado esos límites como criterio de selección para la adquisición ecológica de lámparas fluorescentes. En el Canadá, los reglamentos sobre el contenido de

⁴⁴ Véase <https://www.mercuryconvention.org/en/events/fourth-meeting-conference-parties-minamata-convention-mercury-cop-4-second-segment#sec965>.

⁴⁵ Véase <https://www.unep.org/news-and-stories/story/many-products-still-contain-mercury-these-alternatives-could-replace-them>.

⁴⁶ Véase <https://www.orf.od.nih.gov/EnvironmentalProtection/MercuryFree/Pages/Alternatives.aspx>.

mercurio en los productos (*Products Containing Mercury Regulations*) establecen los límites relativos a la cantidad de mercurio que pueden contener las lámparas fluorescentes y otros tipos de lámparas. En China, la versión revisada del Catálogo de Orientación para el Ajuste de la Estructura Industrial contiene límites sobre la cantidad de mercurio y productos con mercurio añadido.

126. Con miras a reducir la cantidad de mercurio en las lámparas fluorescentes, los fabricantes han elaborado diversas tecnologías para inyectar en las lámparas las cantidades específicas de mercurio que correspondan al mínimo de mercurio requerido para garantizar el adecuado funcionamiento de las lámparas. Ejemplos de métodos para inyectar cantidades exactas de mercurio en las lámparas son el uso de la amalgama de mercurio, la pastilla de aleaciones de mercurio, el anillo de aleaciones de mercurio y la cápsula de mercurio en lugar de inyectar mercurio (Ministerio de Medio Ambiente del Japón, 2010).

127. El uso de la dosificación de la amalgama de mercurio parece presentar ventajas ambientales y de desempeño respecto del uso del mercurio durante todo el ciclo de vida de las lámparas fluorescentes compactas y de otros tipos de lámparas que contienen mercurio. La ventaja de los métodos de dosificación exacta de mercurio consiste en que se reduce al mínimo la exposición de los trabajadores y consumidores al mercurio, así como la liberación al medio ambiente de vapor de mercurio durante la fabricación, el transporte, la instalación, el almacenamiento y el reciclado y la eliminación, en particular cuando las lámparas se rompen. Además, los métodos de dosificación exacta de mercurio permiten a los fabricantes producir lámparas fluorescentes compactas que contienen muy bajo contenido de mercurio (dos miligramos o menos) sin dejar de cumplir importantes requisitos de comportamiento tales como un alto rendimiento y una larga vida útil.

c) **Adquisición**

128. Se deberán alentar los programas de adquisición de productos que no contienen mercurio a fin de procurar la prevención de los desechos y promover el uso de productos que no contienen o que contienen poco mercurio. El objetivo de las prácticas de adquisición deberá ser, siempre que sea posible, adquirir productos que no contienen mercurio, con excepción de los pocos casos en que no se disponga práctica o tecnológicamente de alternativas a los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio o adquirir productos con un contenido mínimo de mercurio.

129. Los grandes consumidores de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio, como las instituciones oficiales y los centros de salud, pueden desempeñar una importante función de estímulo a la demanda de productos que no contienen mercurio poniendo en práctica programas de adquisición que no perjudiquen el medio ambiente. En algunos casos, se podrían utilizar incentivos financieros para alentar esos programas de adquisición. Algunos Estados de los Estados Unidos, por ejemplo, han subsidiado la adquisición de termómetros que no utilizan mercurio.

3. **Responsabilidad ampliada del productor**

130. Se entiende por responsabilidad ampliada del productor “un enfoque de la política ambiental según el cual la responsabilidad del productor se amplía hasta la etapa del ciclo de vida de un producto posterior al consumo”. Se considera que el “productor”⁴⁷ es el propietario de la marca de fábrica o el importador, excepto en casos como el empaque, y en situaciones en las que el propietario de la marca de fábrica no está claramente definido, como ocurre con los equipos electrónicos, en que el fabricante (y el importador) sería el productor (OCDE, 2001a). Los programas de responsabilidad ampliada del productor transfieren la responsabilidad ante la gestión de los productos hasta el final de su vida útil de las autoridades gubernamentales locales y de los contribuyentes fiscales a los productores, y pueden crear incentivos para que los productores incorporen consideraciones ambientales en el diseño de sus productos de manera que los costos del tratamiento y la eliminación ambientalmente racionales de esos productos cuando se hayan convertido en desechos estén reflejados en los precios de los productos. La responsabilidad ampliada de los productores se puede imponer mediante procedimientos obligatorios o voluntarios o bien mediante una combinación de los dos procedimientos (por ejemplo, mediante acuerdos negociados). Los programas de recogida para la recuperación pueden integrarse en los programas de responsabilidad ampliada del productor (véase el párrafo 159 *infra*).

131. Los programas de responsabilidad ampliada del productor, en dependencia de la manera en que estén diseñados, pueden lograr algunos objetivos, entre otros: 1) aliviar a los gobiernos locales de la carga financiera y, en ocasiones, operacional de eliminar los desechos/productos/materiales; 2) alentar a las empresas a diseñar productos con miras a su posible reutilización y reciclado y a reducir tanto la cantidad como la peligrosidad de los materiales utilizados; 3) incorporar los costos del manejo de los desechos en los precios de los productos; y 4) promover la innovación en la tecnología de reciclado. Por

⁴⁷ La Directiva 2008/98/CE de la Unión Europea dispone que toda persona natural o jurídica que profesionalmente desarrolle, fabrique, procese, trate, venda o importe productos, ve ampliada su responsabilidad de productor.

conseguida, la responsabilidad ampliada del productor promueve un mercado en el que los precios reflejan los efectos ambientales de los productos (OCDE, 2001a). En varias publicaciones de la OCDE sobre este tema⁴⁸ se pueden consultar descripciones pormenorizadas de planes de responsabilidad ampliada del productor.

132. En los casos en que se empleen programas de responsabilidad ampliada del productor, las autoridades ambientales podrán crear marcos reglamentarios en los que se determinen las responsabilidades de los interesados directos pertinentes, las normas sobre el manejo de los productos y los componentes que deben conformar todos los programas de responsabilidad ampliada del productor, además de alentar la participación de las partes interesadas y del público. Las autoridades ambientales también deberán vigilar los resultados prácticos de los programas de responsabilidad ampliada del productor (por ejemplo, cantidad de desechos recogidos, cantidad de mercurio recuperado y costos acumulados de la recogida, el reciclado y el almacenamiento) y de recomendar las mejoras que sean necesarias. La responsabilidad de aplicar los planes de responsabilidad ampliada del productor deberá estar compartida entre todos los productores del producto de que se trate y no deberá haber “beneficiarios parásitos” (a saber, productores que no tienen que aplicar el enfoque de la responsabilidad ampliada del productor) en tales programas, a fin de evitar la situación en que ciertos productores tengan que asumir una cuota desproporcionada de los costos de responsabilidad ampliada del productor con respecto a la cuota en el mercado de sus productos.

133. Los cuadros 4, 5 y 6 presentan información sobre programas regionales o nacionales de responsabilidad ampliada del productor.

Recuadro 4 - Ejemplo regional: Unión Europea

En la Unión Europea, las lámparas fluorescentes, incluidas las CFL, son uno de los productos sujetos a los requisitos de la *Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)* (Unión Europea, 2012). La directiva exige la responsabilidad ampliada del productor por la gestión de los residuos de equipos eléctricos y electrónicos que contienen, entre otras cosas, mercurio.

Además, las baterías están sujetas a los requisitos de la *Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de septiembre de 2006, relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y por la que se deroga la Directiva 91/157/CEE* (Unión Europea, 2006). Los productores de pilas y acumuladores y los productores de otros productos que contengan una pila o acumulador son responsables de la gestión de los residuos de pilas y acumuladores que pongan en el mercado.

Recuadro 5 - Ejemplo nacional: Canadá

En Canadá se han puesto en práctica en todo el país programas de responsabilidad ampliada del productor relativos a los productos que contienen mercurio tales como lámparas y baterías⁴⁹. Por ejemplo, en la provincia de Quebec, *The RecycFluo* es un programa sin fines de lucro que acepta bombillas y tubos fluorescentes que contienen mercurio de consumidores y empresas quebequenses, y los recicla de manera responsable y gratuita. Este programa lo dirige *Product Care Recycling*, una asociación industrial sin fines de lucro que se especializa en la gestión de productos en nombre de sus fabricantes, distribuidores y minoristas y es financiada con las tarifas de reciclado que paga el consumidor en los puntos de venta de lámparas de iluminación nuevas que contengan mercurio en Quebec⁵⁰.

Recuadro 6 - Ejemplo nacional: Corea

En la República de Corea, las lámparas fluorescentes y las baterías son objetivos de la responsabilidad ampliada del productor, la cual obliga a los productores e importadores de productos a reciclar una cierta cantidad de desechos de productos. Quienes no cumplan esta obligación están sujetos a cargos de reciclado. Los productores cumplen la responsabilidad de reciclar individualmente o uniéndose a una Organización de Responsabilidad del Productor⁵¹.

⁴⁸ Disponible en: <http://www.oecd.org/env/tools-evaluation/extendedproducerresponsibility.htm>.

⁴⁹ <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/managing-reducing-waste/overview-extended-producer-responsibility/inventory-recycling-programs.html>.

⁵⁰ <https://www.recycfluor.ca/en/about-recycfluor>.

⁵¹ Información disponible en https://www.keco.or.kr/en/core/operation_extended/contentsid/1980/index.do.

F. Manipulación, separación, recogida, empaque, etiquetado, transporte y almacenamiento

134. Los procedimientos de manipulación, separación, recogida, empaque, etiquetado, transporte y almacenamiento de los desechos de mercurio pendientes de eliminación en general son parecidos a los establecidos para los desechos peligrosos. Sin embargo, debido a que las propiedades físicas y químicas del mercurio le confieren gran movilidad en el medio ambiente, la responsabilidad ampliada del productor de los desechos de mercurio requiere otras precauciones y otras técnicas de manipulación.

135. En la presente sección se imparte orientación técnica concreta acerca de la manipulación más adecuada de los desechos de mercurio, pero es una necesidad imperiosa que los generadores de esos desechos también consulten los requisitos nacionales y locales aplicables y los cumplan al pie de la letra. En relación con el transporte y el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos, se deberán consultar los documentos siguientes para determinar los requisitos específicos:

- a) PNUMA, 2015b. Manual para la aplicación del Convenio de Basilea;
- b) Organización Marítima Internacional (OMI), 2018. Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas;
- c) Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2018. Instrucciones técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea;
- d) Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), 2020. Reglamentación de Mercancías Peligrosas; y
- e) Naciones Unidas, 2019a. Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas, Reglamento Modelo.

136. En los materiales de consulta que figuran a continuación se puede obtener orientación sobre la manipulación, la separación, la recogida, el empaque, el etiquetado, el transporte y el almacenamiento de desechos de mercurio:

- a) PNUD, 2010. *Guía para la limpieza, almacenamiento temporal o intermedio y transporte de desechos de mercurio desde las instalaciones de salud*;
- b) OMS, 2010. *Uso futuro de materiales de restauración dental (Capítulo 6. Mejores prácticas para el manejo de los desechos de amalgama)*; y
- c) *The Lamp Recycling Outreach Project*, sin fecha, *Training Module (1-hour version) for Generators and Handlers of Fluorescent and Mercury-Containing Lamps (and Ballasts)*.

137. Se deberá recopilar y analizar la información pertinente en relación con los riesgos y características peligrosas de los desechos de mercurio, a fin de planificar la correcta manipulación de esos desechos, por ejemplo mediante la consulta y respeto de las instrucciones impartidas sobre los productos químicos que estos contienen y en las correspondientes hojas de datos de seguridad. En cuanto al etiquetado y embalaje, deberá tenerse en consideración, según proceda, el Sistema Globalmente Armonizado de las Naciones Unidas de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA).

138. Para garantizar que las liberaciones de mercurio o compuestos de mercurio se mantengan al mínimo, es importante primero concienciar a las personas que intervienen en la manipulación, separación, recolección, empaque, etiquetado, transporte y almacenamiento (por ejemplo, transportistas, recicladores y operadores de tratamiento) sobre los riesgos del mercurio. Dicha concienciación se puede lograr mediante actividades de capacitación, tales como seminarios, que brinden información sobre nuevos sistemas, reglamentos y oportunidades de intercambio de información, preparación y distribución de folletos y difusión de información por Internet.

1. Manipulación

139. Los encargados de manipular desechos de mercurio deberán tener en cuenta las reglamentaciones nacionales pertinentes y prestar atención especial a la prevención de la evaporación y del derrame de mercurio en el medio ambiente.

140. Los usuarios finales deberán manipular de manera segura los productos de desecho que contienen mercurio o compuestos de mercurio, tales como lámparas fluorescentes, termómetros y dispositivos eléctricos y electrónicos, e impedir su rotura o daño. Los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio como pinturas y plaguicidas, se manipularán de manera segura y no se deberán descargar en fregaderos, inodoros, drenajes pluviales u otros sistemas de captación del agua de lluvia. Los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de

mercurio no deberán mezclarse con otros desechos. Si estos productos se rompen o derraman accidentalmente, se deberán aplicar procedimientos de limpieza (véase la subsección III.K.2 infra).

141. Los encargados de manipular desechos contaminados con mercurio no deberán mezclarlos con otros desechos.

2. Separación

142. La separación de desechos de mercurio es importante porque, si esos desechos son eliminados simplemente como desechos sólidos urbanos sin separarlos de ningún modo, el mercurio contenido en los desechos puede ser liberado al medio ambiente.

143. Los desechos de mercurio industriales se deben separar de otros desechos generados en las instalaciones industriales, de conformidad con la legislación nacional aplicable. El mantener separados estos desechos posibilita el tratamiento adecuado o bien para extraer el mercurio que contienen o para estabilizar los desechos para su debida eliminación sin diluir su contenido de mercurio. Debe evitarse la dilución del mercurio en los desechos mezclándolo con otros desechos, ya que ello disminuiría la eficacia del tratamiento, o podría disminuir indebidamente la concentración del mercurio por debajo del umbral, o los umbrales, que se han de establecer con arreglo al párrafo 2 del artículo 11 del Convenio de Minamata, lo cual impediría manejar correctamente tales desechos.

144. Con sujeción a la legislación nacional y local, el etiquetado de los productos que contienen mercurio puede facilitar la separación. Los productores deberán establecer sistemas de etiquetado para los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio durante el proceso de fabricación de dichos productos para facilitar la identificación de los productos que contienen mercurio y necesitan manipulación especial en el marco de programas de recogida y reciclado.⁵² Las etiquetas tendrán que cumplir el reglamento nacional del derecho de información, lo cual puede incluir la notificación de la identidad y las propiedades de los ingredientes químicos tóxicos de los productos. Los sistemas de etiquetado de los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio también pueden exigir que las etiquetas incluyan instrucciones sobre el uso adecuado de dichos productos, así como instrucciones sobre la manipulación de desechos que alienten el reciclado y la eliminación adecuados.

145. Los sistemas de etiquetado de los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio podrían ayudar a lograr los objetivos siguientes.

- a) Informar a los consumidores en el lugar de adquisición que estos productos contienen mercurio y que posiblemente requieran una manipulación especial cuando se conviertan en desechos;
- b) Identificar los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio en el lugar de recolección para que queden separados de otros desechos.

146. Los fabricantes pueden indicar la presencia de mercurio en los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio utilizando en las etiquetas de los productos el símbolo químico internacional del mercurio, "Hg". Por ejemplo, en los Estados Unidos es obligatorio que los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio lleven este símbolo⁵³ . En la Unión Europea, el símbolo químico "Hg" tiene que estar impreso en las baterías que contienen mercurio conforme a la Directiva 2006/66/CE (Unión Europea, 2006). El uso de un símbolo parecido en las etiquetas de las cajas de lámparas que contienen mercurio que son objeto de comercio internacional podría promover el reconocimiento general de que las lámparas contienen mercurio. Se podría incluir información adicional en los idiomas vernáculos correspondientes para explicar el significado del símbolo.

147. El recuadro 7 presenta un ejemplo nacional de etiquetado de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio.

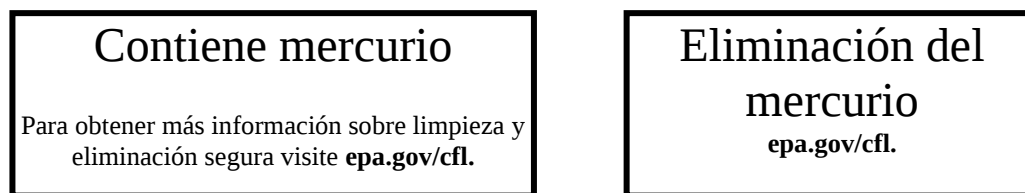
⁵² A modo de ejemplo, se pueden consultar directrices en:
<http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/labelinginfo.cfm>.

⁵³ Disponible en: <http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/labelinginfo.cfm>.

Recuadro 7 - Ejemplo nacional: EE. UU.

En los Estados Unidos, la Sección de Lámparas de la Asociación Nacional de Fabricantes de Artículos Eléctricos (NEMA) insiste en que un criterio nacional o internacional armonizado en relación con el etiquetado de las lámparas con mercurio añadido es un componente esencial de una distribución eficaz y económica de lámparas de alto rendimiento⁵⁴. El 19 de julio de 2010, la Comisión Federal de Comercio de los Estados Unidos promulgó una norma⁵⁵ en la que se exige que, a partir del 19 de julio de 2011, el empaque de lámparas fluorescentes compactas, lámparas de diodos emisores de luz (LED) y lámparas incandescentes tradicionales, contengan nuevas etiquetas que ayuden a los consumidores a seleccionar las lámparas de mayor rendimiento para sus necesidades de iluminación. En el caso de lámparas que contienen mercurio, tanto el empaque como las propias lámparas tendrán que etiquetarse de la forma siguiente⁵⁶:

Figura: Ejemplo de etiquetado de un producto (lámpara fluorescente: izquierda para el empaque y derecha para el producto)



148. Cuando se exportan productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio y estos se convierten en desechos en los países importadores, existe la posibilidad de que los consumidores, los usuarios y otros interesados directos en esos países no puedan leer o entender las etiquetas de los productos que estén escritas en un idioma extranjero. En estos casos, los importadores, los exportadores, los fabricantes u otros organismos nacionales encargados del etiquetado del producto deberán garantizar que las etiquetas de los productos sean apropiadas a las condiciones locales o que estén escritas en el idioma vernáculo correspondiente.

3. Recogida

149. Al establecer y aplicar programas de recogida de desechos de mercurio, en particular desechos de productos que contienen mercurio y compuestos de mercurio de hogares y entidades comerciales e institucionales, se deben tener en cuenta las siguientes cuestiones:

- a) Informar a los consumidores la presencia de mercurio en los productos, para que tengan información que les pueda ayudar a procurar alternativas menos perjudiciales;
- b) Dar tiempo suficiente para el funcionamiento de los programas de recogida para la recoger completamente todos los desechos de mercurio incluidos en los programas;
- c) Incluir en programas de recogida, en la medida que resulte práctico, la recogida de todos los desechos de mercurio.

a) Recogida de desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio

150. Los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio tales como los que se generan durante el cierre de plantas de cloro-álcali, difieren de otros desechos de mercurio en cuanto a los riesgos que plantean si se manipulan indebidamente. Los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio pueden también generarse en mayores volúmenes que los de otros desechos de mercurio, lo cual dificulta su recogida de manera segura. El mercurio a granel debe ser cuidadosamente empacado en contenedores adecuados antes de su envío a las instalaciones de almacenamiento o evacuación designadas⁵⁷.

⁵⁴ Disponible en: <https://www.nema.org/Standards/Pages/The-Labeling-of-Mercury-Containing-Lamps.aspx>.

⁵⁵ *Appliance Labeling Rule*, 75 Fed. Reg. 41696 (19 de julio de 2010).

⁵⁶ Disponible en: <http://www.ftc.gov/os/2010/06/100618lightbulbs.pdf> (última visita el 29 de mayo de 2011). Para obtener información sobre reciclado, etc., visite <https://www.epa.gov/cfl/recycling-and-disposal-cfls-and-other-bulbs-contain-mercury>.

⁵⁷ El Departamento de Energía de los Estados Unidos imparte orientación pormenorizada sobre la manipulación y el almacenamiento de mercurio que puede consultarse en: <https://energy.gov/em/services/waste-management/waste-and-materials-disposition-information>.

b) Recogida de desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio

151. Después de convertirse en desechos, los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio deberían recogerse separadamente de otros desechos y se deberá tratar de evitar la fracturación o la contaminación lo más posible. Como la cantidad de desechos generados por los hogares, por un lado, y por otras entidades que generan desechos, como empresas, gobiernos, escuelas y otras organizaciones, por otro lado, son diferentes, se recomienda que los desechos generados por estos dos grupos sean recogidos por separado.

152. A continuación se analizan seis opciones para la recogida de productos de desecho que contienen mercurio o compuestos de mercurio procedentes de los hogares como los que se mencionan en el cuadro 5 *supra*. Las baterías que contienen mercurio se pueden recoger junto con otros tipos de baterías si se tratan mediante el mismo proceso.

i) Puntos de recogida o de entrega de desechos

153. Los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio se deberán descartar en contenedores diseñados especialmente en los puntos de recogida o depósitos para esos desechos a fin de evitar que se mezclen con desechos de otro tipo. Los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio deberán ser recogidos exclusivamente por operadores autorizados por los gobiernos u otras autoridades pertinentes del lugar.

154. Se deberá poner a disposición del público contenedores o cajas para los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio en los puntos de recogida de desechos. Los puntos de recogida de desechos en interiores deben tener un sistema de ventilación independiente, siempre que sea posible. Los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio, como lámparas fluorescentes y termómetros y pilas se deberán colocar solamente en contenedores de colores que indiquen que son para desechos. Los contenedores designados deberán ser todos del mismo color o llevar el mismo logotipo para facilitar la concienciación del público. Se deberá evitar la rotura de lámparas fluorescentes y termómetros, entre otras cosas, mediante el diseño adecuado y la información por escrito sobre los procedimientos de recogida. Se deberán utilizar contenedores diferentes para las bombillas y las lámparas fluorescentes compactas. En el caso de las lámparas fluorescentes compactas, es importante minimizar la “caída libre” de las lámparas instalando deflectores o rebordes blandos en cascada. Otra opción para reducir al mínimo la rotura de lámparas sería pedir a los consumidores que entreguen las lámparas fluorescentes a miembros calificados del personal del punto de recogida. En caso de que alguna lámpara se rompa, se informará al personal para que se apliquen los procedimientos de limpieza⁵⁸. Los puntos de recogida de desechos para las lámparas pueden disponerse en exteriores a fin de reducir al mínimo el riesgo de exposición de los trabajadores en caso de que se rompa una lámpara.

ii) Recogida en lugares públicos o puestos de venta

155. Los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio, en particular las lámparas fluorescentes usadas, los termostatos, las pilas y los termómetros podrán ser recogidos por vehículos de recogida diseñados especialmente o depositados en lugares públicos, por ejemplo, en edificios municipales o cerca de estos, tiendas de artículos electrónicos, galerías de tiendas y otros lugares de venta al detalle, siempre y cuando se utilicen contenedores apropiados para la recogida y se tomen las medidas necesarias para evitar la exposición al mercurio debido a la rotura de productos. Los puntos de recogida de desechos en interiores deben tener un sistema de ventilación independiente siempre que sea posible. Se deberán diseñar contenedores o cajas por separado para los desechos que contienen mercurio o compuestos de mercurio que se ajusten a las características de dichos desechos y reduzcan al mínimo las roturas. En los lugares públicos de recogida en exteriores solamente se deberán utilizar contenedores diseñados para desechos que contengan mercurio o compuestos de mercurio y que hayan demostrado su capacidad para contener los vapores de mercurio de las lámparas rotas.⁵⁹ Los consumidores deberán poder llevar las lámparas fluorescentes usadas, las pilas, los termostatos y los termómetros a esos lugares sin costo alguno. Los operadores autorizados para la recogida, que serán empresas municipales o del sector privado (por ejemplo, centros encargados por los fabricantes), deberán depositar los desechos en las cajas o contenedores designados para la recogida de desechos.

156. Los contenedores y cajas para los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio se deberán inspeccionar para garantizar que no se depositen otros tipos de desechos en ellos. En todo establecimiento de venta minorista en interiores estos deberán colocarse lejos de áreas de

⁵⁸ Véase USEPA, “Cleaning up a broken CFL”, disponible en: <http://www.epa.gov/cfl/cflcleanup.html>; Mercury Policy Project, 2008, *Shedding Light on Mercury Risks from CFL Breakage*, disponible en: <http://ledgobeyondgreen.com/images/mercury-risks.pdf> y Organismo Alemán de Protección del Medio Ambiente, disponible en: <http://umweltbundesamt.de/energie/licht/hgf.htm> (en alemán).

⁵⁹ Véase Glenz, Brosseau y Hoffbeck, 2009.

alto tráfico peatonal y colocarse de manera que se eviten golpes o choques. Esto podría lograrse colocando los contenedores en una esquina o rodearlos con una barrera para dirigir el flujo de personas y minimizar cualquier contacto accidental.

iii) Recogida en los hogares por los recolectores

157. Los operadores autorizados podrán recoger en los hogares ciertos desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio tales como los desechos de equipos electrónicos que contienen mercurio. Para asegurar la eficacia de la recogida de estos desechos, frecuentemente hará falta establecer arreglos especiales o mecanismos legales que amparen a los operadores locales encargados de recogerlos; por ejemplo, es posible que los gobiernos u otros organismos y los fabricantes de productos que contengan mercurio o compuestos de mercurio tengan que establecer acuerdos para que los operadores locales recojan los desechos de estos productos.

iv) Recogida coordinada por asociaciones comerciales

158. Las asociaciones empresariales o comerciales pueden realizar eficazmente la recogida de desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio generados por entidades empresariales y comerciales. En el Japón, por ejemplo, la Asociación Médica de Tokio estableció un sistema de recogida especial para termómetros y esfigmomanómetros innecesarios que recogió varios miles de esos dispositivos durante el período de recogida de un mes. Durante el período de recogida, se alentó a cada institución médica miembro de la Asociación a que llevara los dispositivos a una oficina sucursal local designada para ese fin y se le pidió que pagase cargos específicos para su transportación y eliminación. La Asociación Médica de Tokio coordinó con sucursales locales de la Asociación y con entidades y responsables de transportación de desechos para garantizar la recogida y eliminación de manera eficiente de los dispositivos recogidos. Cada institución médica miembro se vio beneficiada con cargos inferiores para la transportación debido a que el sistema creó economías de escala y arreglos sobre transportación eficiente.

v) Programa de recuperación mediante entregas

159. Los programas de recuperación mediante entregas pueden ser diversos programas establecidos para desviar los productos gastados o de desecho de la corriente de desechos con miras a reciclarlos, reutilizarlos, repararlos o, en algunos casos, recuperarlos. Los programas de recuperación mediante entregas suelen ser actividades voluntarias elaboradas por el sector privado (por ejemplo, fabricantes y comerciantes al detalle) que ofrecen la oportunidad a los consumidores de devolver los productos utilizados a los lugares donde los adquirieron o a otros lugares específicos. Algunos programas de recuperación mediante entregas ofrecen incentivos financieros a los consumidores, otros pueden ser obligatorios o estar controlados por los gobiernos (por ejemplo, programas de depósito de botellas), y otros pueden servir para financiar parcialmente las actividades de eliminación y reciclado. Por regla general, los programas de recuperación mediante entregas se centran en productos de consumo de uso más general tales como pilas, conmutadores, termostatos, lámparas fluorescentes y otros productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio (Honda, 2005).

vi) Servicios de envío prepagado

160. Algunos recicladores de productos que contienen mercurio ofrecen un concepto de reciclado por correo en el que los consumidores o los generadores de desechos compran cajas o contenedores al reciclador que incluye el costo de entrega. Los productos de desecho que contienen mercurio se colocan en la caja y, una vez que está llena, se devuelven al reciclador. Este servicio de envío prepagado es conveniente para los generadores de pequeñas cantidades y para aquellos que se encuentran en ubicaciones remotas que de otra manera no tendrían acceso a otros programas de recogida o que tienen opciones de transporte limitadas. El tipo de desecho que se acepta mediante este programa puede variar según el reciclador.

c) Recogida de desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio

161. Las plantas de tratamiento de las aguas cloacales y los incineradores de desechos por regla general se diseñan de manera que incluya el equipo de captación de fangos cloacales, cenizas y residuos que pudieran contener trazas de mercurio y de otros metales pesados. Los dispositivos para el control de la contaminación atmosférica por mercurio en los incineradores pueden aumentar las concentraciones de mercurio en las cenizas volátiles recogidas. Si las concentraciones de mercurio en esos desechos rebasa los criterios establecidos para los desechos peligrosos o los desechos de mercurio, esos desechos se recogerán por separado.

4. Empaque y etiquetado

162. Los desechos de mercurio que se transporten de los locales de los generadores o de los puntos de recogida pública hasta las plantas de tratamiento de desechos, habrá que empacarlos y etiquetarlos

debidamente. El empaque y el etiquetado para el transporte suelen estar sujetos a controles establecidos en la legislación nacional sobre transporte de desechos peligrosos o mercancías peligrosas, que se deben consultar primero. Si esta legislación no existe o si no aporta orientación suficiente, se deberá velar por que se utilicen las etiquetas que estipula el *Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos* de las Naciones Unidas. Se deberán hacer consultas con la IATA, la OMI y la CEPE. Se han elaborado normas internacionales sobre cómo empaquetar, etiquetar e identificar debidamente los desechos, incluidos los materiales de referencia siguientes:

- a) Naciones Unidas, 2019b. *Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos* (revisado y mejorado cada dos años); y
- b) OCDE, 2001b: *Sistema armonizado integrado de clasificación de peligros ambientales y para la salud humana de sustancias y mezclas químicas*.

5. Transporte

163. Los desechos de mercurio deberán ser transportados de manera que se eviten derrames accidentales. También se deberá llevar el debido control durante su transporte hasta que hayan llegado a su destino final. Antes del transporte, se deberán preparar planes de emergencia para reducir al mínimo los efectos ambientales derivados de derrames, incendios y otras situaciones de emergencia potenciales. Los documentos de envío deben contener un número de teléfono para casos de emergencia y un certificado de que el envío cumple lo estipulado en los reglamentos. Además, el expedidor debe marcar los contenedores con los letreros pertinentes, incluyendo la etiqueta especificada, el nombre del envío y, cuando los recipientes contengan desechos peligrosos, el número del código de las Naciones Unidas. En el caso del mercurio, el nombre correcto del envío es “Mercurio” y el número de las Naciones Unidas es “UN 2809” (QSC, 2003). Durante el transporte, se deberán seleccionar, empacar y transportar los desechos de mercurio de conformidad con lo siguiente: a) Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas: *Reglamento Modelo -Libro Naranja* (Naciones Unidas, 2019a); b) *Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas* (OMI, 2018); c) *Instrucciones Técnicas para el transporte seguro de mercancías peligrosas por vía aérea* (OACI, 2017); d) *Manual de Reglamentación sobre Mercancías Peligrosas* (IATA, 2020).

164. Las empresas que transportan desechos de mercurio peligrosos dentro de sus propios países deberán tener certificación como transportadores de materiales y desechos peligrosos y contar con personal calificado y facultado para manipular materiales y desechos peligrosos de conformidad con los requisitos nacionales o locales aplicables. Los transportadores de desechos de mercurio peligrosos deben contar con un seguro que cubra los gastos por daños personales, materiales y ambientales causados por cualquier accidente que pueda ocurrir durante el transporte de los desechos de mercurio. Los transportadores deberán manipular los desechos de mercurio de manera tal que impida roturas, liberaciones al medio ambiente y exposición a la humedad.

165. Los envíos de desechos consistentes en mercurio deben ir acompañados de información que demuestre el nivel de pureza del mercurio y que determine cualquier contaminante. A su llegada, el vehículo de transporte debe ser inspeccionado visualmente en busca de fugas, derrames, gotas u otros depósitos obvios de mercurio elemental libre, y todas las fuentes sospechosas de mercurio deben documentarse e informarse a la administración. El envío debe aceptarse como conforme o rechazarse como no conforme sobre la base de la inspección. La instalación debe conservar un informe escrito que incluya toda la información pertinente (QSC, 2003). Cuando se rechaza un envío, el operador de la instalación debe velar por que se hayan tomado las medidas requeridas en el plan de contingencia sin causar más derrame fuera de la instalación. Se puede obtener orientación sobre el transporte seguro de materiales peligrosos de la IATA, la OMI, la CEPE y la OACI (véase el párrafo 135 *supra*).

6. Almacenamiento

a) Almacenamiento de desechos que contienen mercurio por los generadores de desechos hasta su recogida

166. Los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio deberán ser almacenados temporalmente en los locales de los generadores de desechos hasta que sean recogidos para su evacuación. Los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio se deberán almacenar en condiciones de seguridad y se mantendrán aparte de los demás desechos hasta que sean llevados a los puntos o instalaciones de recogida o hasta que sean recogidos por los programas de devolución o los contratistas. Los desechos a granel deberían almacenarse de tal manera que se minimicen las liberaciones al medio ambiente, incluido, de ser viable, mediante el uso de contenedores cerrados, pista de carga de hormigón impermeable con controles de escurrimiento o recubrimientos de lona impermeable. Los generadores de desechos deberán almacenarlos por un tiempo limitado, como

establecen las normas o reglamentaciones nacionales y, en todo caso, deberán enviarlos para su debida evacuación fuera del lugar tan pronto sea viable.

167. Los desechos domésticos que contengan mercurio o compuestos de mercurio, principalmente lámparas fluorescentes y otras lámparas, pilas y termómetros, deberán ser empacados debidamente (por ejemplo, utilizando productos para empacar o cajas que se ajusten a la forma de los desechos) y almacenados temporalmente. Todo mercurio derramado de dispositivos que se rompan durante la manipulación deberá limpiarse y todo material de limpieza deberá ser mantenido en exteriores hasta que sean recogidos para su tratamiento ulterior⁶⁰. Los desechos líquidos que contienen mercurio o compuestos de mercurio, como pinturas y plaguicidas, deberán mantenerse en sus contenedores originales y las tapas deberán cerrarse herméticamente. No se deberán colocar contenedores y empaques donde se guarden desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio junto a otros desechos; los contenedores y embalajes se deberán marcar y almacenar en un lugar seco y seguro, como un almacén u otro local que no sea frecuentado por personas.

168. Además de seguir la orientación contenida en los párrafos precedentes 166 y 167, los usuarios de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio en gran escala, como los gobiernos, las empresas y las escuelas, tendrán también que elaborar planes para almacenar grandes cantidades de desechos de estos productos. Cuando no se disponga de las cajas o envases originales, se deberán adquirir contenedores que estén diseñados especialmente para almacenar desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio (por ejemplo, contenedores para lámparas fluorescentes). Los contenedores o las cajas para almacenar tales desechos que contienen mercurio se marcarán y fecharán para ser almacenados en un lugar seco dentro de un edificio. Para almacenar esos desechos se recomienda utilizar un lugar o local separado de las áreas de trabajo o áreas prohibidas al acceso público. Esas áreas no deben compartir sistemas de ventilación central con áreas de trabajo o de acceso público, y deben tener sus propios sistemas de ventilación o ventilarse directamente del exterior. En la guía preparada por el PNUD en relación con los desechos de mercurio generados por las instalaciones de salud⁶¹ se especifican detalles al respecto que pueden aplicarse en muchos centros comerciales que generan dispositivos desechados que contienen mercurio, así como por gobiernos locales y otras entidades que necesitan almacenar desechos recolectados de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio durante un período más largo.

b) Almacenamiento de desechos de mercurio hasta que se realicen las operaciones de eliminación

169. Durante el almacenamiento de los desechos de mercurio en instalaciones de eliminación también debe minimizar la posibilidad de liberaciones de mercurio al medio ambiente.

i) Consideraciones técnicas y operacionales relacionadas con las instalaciones de almacenamiento

170. En lo relativo al emplazamiento y el diseño, en principio y siempre que sea posible, las instalaciones de almacenamiento no deberán construirse en lugares precarios llanuras inundables, marismas, aguas subterráneas, zonas sísmicas, terrenos kársticos, terrenos poco firmes y lugares con condiciones climáticas desfavorables y usos incompatibles de la tierra, a fin de evitar todo riesgo de emisiones de mercurio y la posible exposición humana y ambiental al mercurio. No obstante, esas limitaciones respecto de la ubicación podrían no ajustarse a los casos en que los requerimientos jurídicos y de diseño técnico rigen la gestión ambientalmente racional de las instalaciones de almacenamiento. Los espacios de almacenamiento deberán diseñarse de manera tal que garanticen la seguridad de las instalaciones y eviten reacciones químicas y físicas innecesarias al mercurio. Los pisos de las instalaciones de almacenamiento deberán cubrirse con materiales resistentes al mercurio para evitar las infiltraciones o la penetración de mercurio debido a fugas o derrames. Los locales de almacenamiento deberán tener instalados sistemas de alarma contra incendios y de extinción de incendios. Para reducir el riesgo de incendios, las instalaciones deben construirse con materiales incombustibles, que también deben usarse para las paletas, estantes de almacenamiento y otros muebles interiores. A fin de minimizar el riesgo de incendios, se sugiere utilizar montacargas eléctricos de baterías para transportar el mercurio o los compuestos de mercurio dentro de la instalación de almacenamiento. Las áreas de almacenamiento deberán mantener la temperatura más baja que sea posible, preferiblemente a una temperatura constante de 21 grados Celsius. Las salas de almacenamiento de desechos de mercurio deberán marcarse claramente con señales de advertencia (FAO, 1985; USEPA, 1997b; PNUMA, 2022a; Departamento de Energía de los Estados Unidos, 2009).

⁶⁰ Los materiales deben almacenarse en exteriores porque muchos contenedores de uso común, como las bolsas plásticas, son permeables a los vapores de mercurio. Véase *Maine Department of Environmental Protection*, 2008.

⁶¹ PNUD (Proyecto Mundial de Desechos de Salud del FMAM), *Guía para la limpieza, almacenamiento temporal o intermedio y transporte de desechos de mercurio desde las instalaciones de salud*. Disponible en: https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/1030/GEF_Guidance_Cleanup_Storage_Transport_Mercury.pdf.

171. En lo que respecta al funcionamiento, las instalaciones de almacenamiento deberán permanecer cerradas para evitar robos o el acceso no autorizado. El acceso a los desechos de mercurio deberá quedar restringido a las personas que han recibido la debida capacitación, entre otras esferas, en la identificación de los tipos de desechos de mercurio, los peligros que entraña el mercurio y la manipulación de esos desechos. Se recomienda que los edificios donde se almacenan todos los tipos apropiados de desechos de mercurio no se utilicen para almacenar otros materiales o desechos líquidos. En el lugar donde se han almacenado los desechos se deberá crear y actualizar un inventario completo de los que se incorporen o se vayan eliminando. Se deberán inspeccionar periódicamente los lugares de almacenamiento para detectar, en particular, daños, fugas, derrames y deterioro. Se deben llevar a cabo labores de limpieza y descontaminación con toda rapidez, no sin antes alertar a las autoridades pertinentes, y en cumplimiento de las leyes y los reglamentos nacionales (FAO, 1985; USEPA, 1997b).

172. En lo que respecta a la seguridad de las instalaciones, se deberán elaborar procedimientos específicos de cada lugar para aplicar los requisitos de seguridad establecidos para el almacenamiento de desechos de mercurio. Se deberá contar con un plan de emergencia viable, que tenga preferiblemente varios procedimientos y se aplique inmediatamente si ocurre un derrame accidental u otras emergencias. Tiene importancia primordial la protección de la vida humana y el medio ambiente. En caso de emergencia, debe haber una persona encargada de autorizar modificaciones a los procedimientos de seguridad, cuando sea necesario, a fin de que el personal de respuesta en casos de emergencia pueda actuar. Se deberá garantizar un lugar adecuado para emplazar la seguridad y el acceso al lugar (Oficina de Gestión del Medio Ambiente, República de Filipinas, 1997; PNUMA, 2022a; Departamento de Energía de los EE. UU., 2009).

ii) **Consideraciones especiales relacionadas con el almacenamiento de los desechos de mercurio o compuestos de mercurio**

173. Los contenedores de desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio deberán estar estructuralmente en buen estado y ser aptos para almacenar dichos desechos de manera ambientalmente racional. Los contenedores deberán cumplir los requisitos siguientes: 1) no haber sufrido daños previos debido a otros materiales que se hayan almacenado en ellos ni haber contenido materiales que puedan causar efectos adversos al reaccionar con el mercurio; 2) su integridad estructural debe estar intacta; 3) no deben presentar corrosión; y 4) tener aplicada una capa protectora (pintura) para prevenir la corrosión (si no son de acero inoxidable). Entre los materiales apropiados para los contenedores de mercurio están el acero al carbono (ASTM A36 mínimo) y el acero inoxidable (AISI 304 o 316L) (Unión Europea, 2017), los cuales no reaccionan con el mercurio a temperatura ambiente. Existen dos tipos principales de contenedores internacionalmente aprobados para el almacenamiento y transporte de mercurio: botellas de 34,5 kg y contenedores de una tonelada métrica (QSC, 2003). El tipo de diseño del contenedor debe pasar la prueba de caída y las pruebas de estanqueidad descritas en los capítulos 6.1.5.3 y 6.1.5.4 de las Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el transporte de mercancías peligrosas: Manual de pruebas y criterios (Unión Europea, 2011b). Para transportar cantidades más pequeñas de mercurio, a menudo se utilizan otros tamaños (por ejemplo, 1-8 kg) y tipos (por ejemplo, polietileno, vidrio) de contenedores (QSC, 2003); sin embargo, debe tenerse en cuenta el nivel de protección que brindan dichos contenedores. Al almacenar mercurio en contenedores, es importante dejar algo de "espacio libre" para permitir la expansión térmica del mercurio. En la orientación de la Unión Europea, la proporción máxima de llenado de un contenedor es del 80 por ciento en volumen y, por lo tanto, el espacio libre es de al menos el 20 por ciento (Unión Europea, 2011b). Otras jurisdicciones especifican una proporción máxima de ocupación del 85 por ciento con un espacio vacío del 15 por ciento. No habrá que aplicar ninguna capa protectora en la superficie interior siempre que el mercurio que se vaya a almacenar cumpla los requisitos de pureza y no haya agua dentro del contenedor. Las capas protectoras (por ejemplo, pintura epoxídica y galvanoplastia) deberían aplicarse a todas las superficies exteriores de acero al carbono de manera que no quede acero alguno expuesto. Las capas se aplicarán de manera de reducir al mínimo la formación de vejigas por el calor, las desconchaduras y las grietas en la pintura. En cada contenedor se pegará una etiqueta que deberá incluir información sobre el contenido (descripción) y riesgos, los nombres del proveedor o generador de los desechos de mercurio, el origen de los desechos, el número del contenedor, el peso neto y bruto, la fecha en que el mercurio fue inyectado y una etiqueta de "materiales corrosivos" que indique que el recipiente contiene materiales corrosivos (Departamento de Energía de los EE. UU., 2009). Además, en la etiqueta se indicará que el contenedor cumple los requisitos técnicos específicos en cuanto a hermeticidad, estabilidad a la presión, resistencia a los choques, comportamiento al ser expuesto al calor, etc.

174. En las instalaciones de almacenamiento los contenedores de desechos de mercurio o compuestos de mercurio deberán colocarse en posición vertical en plataformas separadas del suelo. Los pasillos de las áreas de almacenamiento deben tener suficiente amplitud para que puedan pasar los equipos de inspección, la maquinaria de carga y el equipo de emergencia. Los pisos de las instalaciones de almacenamiento deberán cubrirse con una capa de material epoxídico y ser de color claro para detectar

las gotas de mercurio. Las condiciones del piso y la capa de recubrimiento del piso deberán inspeccionarse con frecuencia para garantizar que el piso no tenga grietas y la capa de recubrimiento se mantenga intacta. El piso no deberá tener ningún canal de desagüe ni instalaciones de tuberías y se podrán utilizar pisos inclinados para ayudar a recoger los derrames. El volumen de contención de líquido debe tener suficiente margen con respecto al volumen de líquido máximo. El volumen de contención de líquido debe tener un margen suficiente con respecto al volumen de líquido máximo, teniendo en cuenta el espacio ocupado por los elementos almacenados en el área de contención. Si se almacenan dos o más contenedores en un área de contención, el volumen del contenedor más grande debe considerarse como el volumen máximo de líquido. Al seleccionar los materiales con los que se construirán las paredes de las instalaciones de almacenamiento, se deberá optar por materiales que no absorban fácilmente los vapores de mercurio. Es importante que haya sistemas adicionales para impedir liberaciones de mercurio en caso de que ocurra algún imprevisto. Las áreas utilizadas para almacenar mercurio o compuestos de mercurio deben tener sus propios sistemas de ventilación o estar ventilados directamente al exterior. Lo ideal es que los sistemas de ventilación para las áreas de manipulación tengan filtros o dispositivos de control de la contaminación para capturar cualquier vapor o polvo de mercurio. Cuando se transfiere mercurio entre contenedores, se recomiendan entornos de presión negativa para evitar que las emisiones de mercurio salgan de los edificios (Departamento de Energía de los EE. UU., 2009; Euro Chlor, 2004; PNUMA, 2018b).

175. Cuando se almacenen desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio, el contenido de mercurio de dichos desechos deberá ser de la mayor pureza posible para evitar reacciones químicas y la degradación de los contenedores. Se recomienda un contenido de mercurio superior al 99,9 % del peso. Véase la información sobre las técnicas de purificación en la subsección III.G.1 b) v) *infra*.

iii) Consideraciones especiales en relación con el almacenamiento de los desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio

176. Los desechos líquidos en los contenedores deberán colocarse en bandejas de contención o en espacios curvos y estancos. El volumen de contención de líquido deberá ser al menos 125 % del volumen máximo de los desechos líquidos, teniendo en cuenta el espacio que ocupan los productos almacenados en el espacio de contención.

177. Los desechos sólidos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio volátiles se deberán almacenar en contenedores herméticos como barriles o baldes, contenedores de acero para desechos o en contenedores de construcción especial que no liberan vapores de mercurio.

G. Eliminación ambientalmente racional

178. Las siguientes operaciones de eliminación, previstas en las partes A y B del anexo IV del Convenio de Basilea, deberán facilitar el manejo ambientalmente racional de desechos de mercurio⁶²:

- D5 Vertederos controlados;
- D9 Tratamiento fisicoquímico;
- D12 Almacenamiento permanente;
- D13 Combinación o mezcla⁶³ antes de someterlos a las operaciones D5, D9, D12, D14 o D15;
- D14 Reempaque antes de someterlos a las operaciones D5, D9, D12, D13 o D15;
- D15 Almacenamiento hasta que se realice alguna de las operaciones previstas en D5, D9, D12, D13 o D14.
- R4 Reciclado/recuperación de metales y compuestos metálicos;
- R5 Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas;
- R7 Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación;
- R8 Recuperación de componentes provenientes de los catalizadores;
- R12 Intercambio de desechos⁶⁴ para someterlos a las operaciones R4, R5, R8 o R13;

⁶² La información sobre el almacenamiento hasta tanto se realicen las operaciones de eliminación (operaciones R13 y D15) figura en la sección III.F.6.

⁶³ Ejemplos de ello son el procesamiento previo, como clasificación, trituración, desecación, fragmentación, acondicionamiento o separación.

⁶⁴ Se entiende por intercambio de desechos las operaciones que incluyen el tratamiento previo, a menos que pueda aplicarse otro código R.

R13 Acumulación de materiales destinados a las operaciones R4, R5, R8 o R12.

179. Además, se podrá permitir la estiba de los desechos de mercurio adecuados en instalaciones subterráneas, según la cual los desechos se utilizan con fines de seguridad en las minas aprovechando las propiedades estructurales respectivas de los desechos, excepto en el caso de los desechos consistentes en mercurio (mercurio metálico) sometido a estabilización y solidificación (E/S)⁶⁵. El recuadro 8 ofrece información sobre la legislación nacional relativa a este tema.

Recuadro 8 - Ejemplo nacional: Alemania

En Alemania, por ejemplo, la estiba de desechos adecuados en instalaciones subterráneas con fines de seguridad minera está regulada por la Ordenanza sobre estiba de residuos subterráneos (véase http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/underground_waste_stowage.pdf), cuyos requisitos son equivalentes a los de la *Directiva del Consejo 1999/31/CE de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos* e incluye los procedimientos especiales de concesión de licencias y supervisión.

180. Los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio deben tratarse para eliminar o recuperar el mercurio de acuerdo con la orientación proporcionada en la sección 1 a continuación. Este tratamiento producirá desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio y desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio.

181. De tenerse que realizar uno de los procesos de recuperación de mercurio descritos en la subsección III.G.1 *infra* y enviar el mercurio posteriormente a un vertedero controlado o a un sitio de almacenamiento permanente (por ejemplo, mediante la operación D5 o D12), dicha operación de recuperación de mercurio entrará dentro de las operaciones D13 y D9 (es decir, combinación o mezcla, y tratamiento fisicoquímico). Por otra parte, el lavado de suelo y la extracción ácida descritas en el apartado ii) de la subsección III.G.2 *infra* pueden conducir subsecuentemente, en condiciones específicas, a una de las operaciones “R” enumeradas en el párrafo 178 *supra*. En dicho caso, la operación también será una operación “R”. Es posible que estas dos conclusiones no se apliquen a todos los países.

1. Procesos de recuperación de mercurio

182. La recuperación del mercurio a partir de los desechos sólidos por regla general abarca: 1) tratamiento previo, 2) tratamiento térmico y 3) purificación, como se muestra en la figura 5 más adelante. A los efectos de reducir al mínimo las emisiones de mercurio durante el proceso de recuperación de mercurio, las instalaciones deben emplear sistemas cerrados. Todo el proceso debe tener lugar bajo presión reducida a fin de impedir fugas de vapores de mercurio hacia las zonas donde se realiza el proceso (Tanel, Reyes Osorno y Tansel, 1998). La poca cantidad de aire de escape que se emite en el proceso tiene que pasar por una serie de filtros de partículas y un lecho de carbón que absorbe el mercurio antes de que el aire se escape al medio ambiente. Por ejemplo, adoptando ciertas medidas de tratamiento mecánico de los desechos de equipos eléctricos y electrónicos, es posible reducir los niveles de emisión de las emisiones de mercurio canalizadas hacia la atmósfera hasta 2 - 7 µg/Nm³ (Comisión Europea, 2018a).

183. Ejemplos de desechos de mercurio cuya recuperación puede generar emisiones de mercurio son los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio que fácilmente liberan mercurio al medio ambiente cuando se rompen y los desechos contaminados con elevadas concentraciones de mercurio. El primero incluye los dispositivos de medición que contienen mercurio (termómetros, esfigmomanómetros y manómetros) y los interruptores y relés con mercurio, y podría también incluir lámparas que contienen mercurio. Entre los últimos figuran los fangos cloacales del tratamiento de las aguas residuales extraídos de los depuradores de gases por vía húmeda en los hornos de fundición de metales no ferrosos, dependiendo de su contenido de mercurio. El recuadro 9 ofrece información sobre la legislación nacional para el tratamiento y recuperación de los desechos peligrosos que contienen mercurio.

Recuadro 9 - Ejemplo nacional: EE. UU.

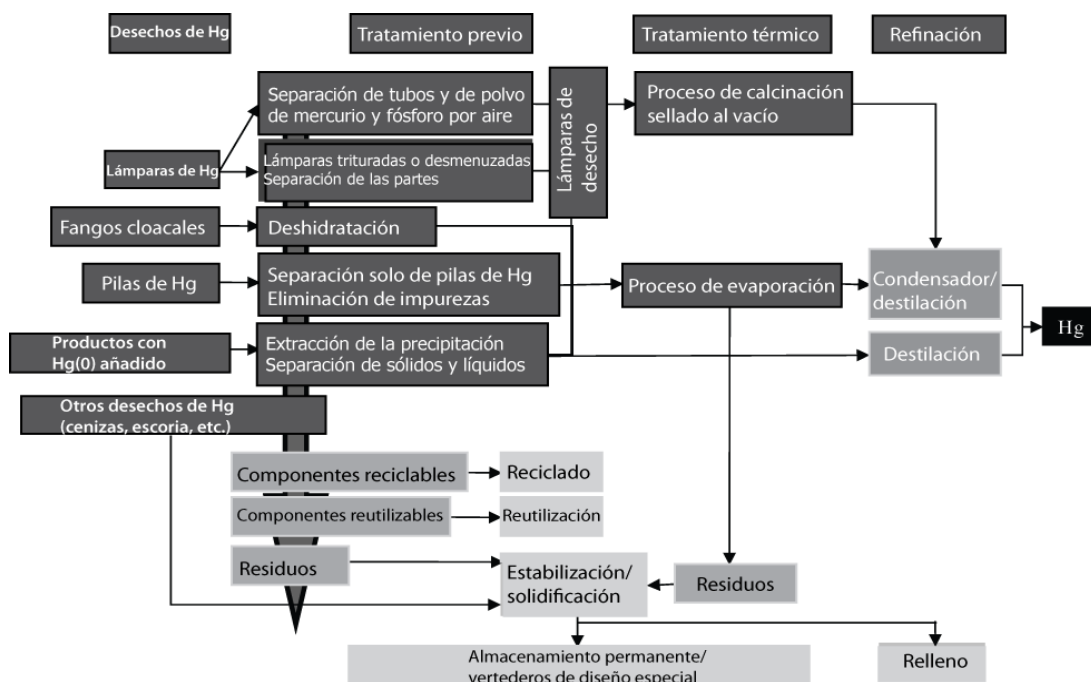
En los Estados Unidos las normas exigen la recuperación de mercurio para reutilización en el caso de los desechos peligrosos que tengan un contenido de mercurio igual o superior a 260 mg/kg. Los desechos que contienen menos de 260 mg/kg se pueden eliminar en la tierra después de un tratamiento para controlar la lixiviación de mercurio (véase Código de Reglamentos Federales de los

⁶⁵ La estiba de desechos de mercurio actualmente solo es posible en Alemania.

EE. UU (CFR), Título 40 (Protección del Medio Ambiente), Sección 268.40: Aplicabilidad de las normas sobre tratamientos).

184. Las *Directrices técnicas sobre reciclado/recuperación ambientalmente racional de metales y compuestos metálicos (R4)* del Convenio de Basilea se centran fundamentalmente en el reciclado y la recuperación ambientalmente racionales de los metales y los compuestos metálicos, incluido el mercurio, enumerados en el anexo I del Convenio (“Categorías de desechos que hay que controlar”). Es posible reciclar desechos de mercurio, en particular desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio, en instalaciones especiales que han hecho avanzar tecnologías de reciclado específicas para el mercurio. Cabe señalar que se deben emplear procedimientos apropiados en ese reciclado para prevenir cualquier liberación de mercurio al medio ambiente. Además, el mercurio reciclado se puede vender en el mercado internacional de productos básicos, donde se puede reutilizar. Por regla general, el grado de utilización permisible, la demanda y la evaluación comercial en cuanto a la posible reutilización del mercurio de manera rentable determinan si el mercurio se recicla o no⁶⁶.

Figura 3: Diagrama de la recuperación del mercurio a partir de desechos sólidos (Nomura Kohsan Co. Ltd., 2007)



185. Por regla general, el mercurio de las aguas residuales se captura mediante procesos de oxidación química, precipitación química o adsorción, seguidos de varios procesos de tratamiento. El mercurio se encuentra en las aguas residuales debido a la descarga accidental o intencional de mercurio de las amalgamas dentales u otros procesos industriales que utilizan mercurio o compuestos de mercurio. Es posible encontrar mercurio en las aguas residuales de los dispositivos de control de la contaminación del aire de tipo húmedo y en los lixiviados de vertederos y depósitos donde se vierten o depositan desechos que contienen mercurio, como los termómetros. En la medida de lo posible el mercurio existente en las aguas residuales no se debe descargar en el medio acuático, donde ocurre la metilación y la conversión del mercurio en metilmercurio, el cual luego se bioacumula y biomagnifica en la cadena alimentaria. Con un tratamiento previo apropiado en ciertos procesos, como la adsorción, es posible reducir las descargas de mercurio a una masa de agua receptora en el caso de ciertos desechos sólidos a 0,5 - 5 µg/l expresado como Hg (en el caso de metales y metaloides) como promedio diario, o como promedio durante la descarga de agua, y en el caso de los desechos líquidos de base acuosa a 1-10 µg/l (Comisión Europea, 2018a). Se debe tomar en consideración el contenido de mercurio del afluente al establecer procedimientos de tratamiento de aguas residuales.

186. El tratamiento previo al reciclado/recuperación del mercurio (operación R4) es una operación de la categoría R12 (véase el párrafo 178 *supra*), mientras que la calcinación en un horno (en lo sucesivo

⁶⁶ Véase el apartado b) del párrafo 3 del artículo 11 del Convenio de Minamata. Además, obsérvese que el apartado b) del párrafo 5 del artículo 3 de ese Convenio previene el reciclado del mercurio excedente (pero no de los desechos de mercurio) generados por el desmantelamiento de las instalaciones de cloro-álcali.

denominada “calcinación”), la purificación, la oxidación química/precipitación y la adsorción corresponden a operaciones de la categoría R4.

a) Tratamiento previo (intercambio de desechos antes de someterlos a las operaciones R4 o R13)

187. Antes de ser sometidos a tratamiento térmico, los desechos que contienen o están contaminados con mercurio reciben un tratamiento a fin de aumentar la eficacia del tratamiento térmico; entre los procesos de tratamiento previo figuran, entre otros, la extracción de materiales que no contengan mercurio mediante trituración y separación por aire, la deshidratación de los fangos cloacales y la eliminación de las impurezas. Ejemplos de operaciones de tratamiento previo específicas de los desechos de mercurio se resumen en el cuadro 7 a continuación.

188. El documento a continuación proporciona información técnica adicional sobre la reducción de las emisiones de mercurio resultantes del tratamiento previo de los desechos: Comisión Europea, 2018b. *Documento de referencia sobre mejores técnicas disponibles (MTD) en el tratamiento de residuos.*

Cuadro 7: Ejemplos de operaciones de tratamiento previo por tipo de desecho

Tipo de desecho	Tratamiento previo
<i>Lámparas fluorescentes</i>	Trituración mecánica Las lámparas que contienen mercurio se deberán procesar en una máquina que las triture y separe en tres categorías: vidrio, capacetes y mezclas de mercurio y fósforo en polvo. Esto se logra inyectando las lámparas en una cámara hermética de triturado y cribado. Terminado este proceso, la cámara extrae automáticamente los productos finales para evitar la contaminación mutua. Los capacetes y el vidrio se deben extraer y enviar para su reutilización en la manufactura. Sin embargo, los pasadores metálicos de los capacetes se deberán eliminar y tratar por separado debido a que el contenido de mercurio puede ser considerable. La mezcla de mercurio y fósforo en polvo se podrá eliminar o procesar posteriormente para separar el mercurio del fósforo (Nomura Kohsan Co. Ltd., 2007). El vidrio triturado de las lámparas puede contener importantes cantidades de mercurio, y se deberá tratar térmicamente o de otra manera para eliminar el mercurio antes de enviar el vidrio para su recuperación (Jang, Hong y Park, 2005) o eliminación. Si este vidrio se envía a una unidad de derretido para refundirlo como parte del proceso de reutilización, la unidad deberá tener controles de la contaminación del aire destinados específicamente a captar el mercurio liberado (por ejemplo, inyección de carbón activado). Un sistema colector de aire de escape de alta eficiencia deberá impedir la emisión de vapores de mercurio o de polvo durante todo el proceso.
	Separación por aire Los capacetes de aluminio de las lámparas fluorescentes (tubos rectos, circulares y compactos) se cortan con quemadores de hidrógeno. Luego se sopla aire en las lámparas fluorescentes cortadas desde el fondo de las lámparas para extraer el polvo de mercurio y fósforo adsorbido en el vidrio de la lámpara (Jang, Hong y Park, 2005). El polvo de mercurio y fósforo va a un precipitador donde las partes de vidrio son trituradas y lavadas con ácido; el polvo de mercurio y fósforo adsorbido en el vidrio se elimina del todo. Además, los capacetes son compactados, y el aluminio, el hierro y los plásticos separados magnéticamente para ser reciclados (Kobelco Eco-Solutions Co. Ltd., 2001; Ogaki, 2004).
<i>Pilas que contienen mercurio</i>	Eliminación de impurezas Para reciclar el mercurio de las pilas que contienen mercurio, antes del tratamiento y el reciclado, estas se deberán recoger y almacenar por separado en contenedores adecuados. Cuando las pilas que contienen mercurio se han recogido junto con los demás tipos de pilas o con residuos de equipos eléctricos y electrónicos (REEE), las pilas que contienen mercurio se deberán separar de los demás tipos de pilas. Sin embargo, cuando una instalación puede tratar baterías que contienen mercurio, otros tipos de baterías y REEE juntos sin emitir mercurio al exterior de la instalación, es posible que esta separación no sea necesaria. Antes del tratamiento a base de calcinación, se deberán eliminar las impurezas mezcladas y adsorbidas con las pilas que contienen mercurio, preferiblemente mediante un proceso mecánico. Además,

Tipo de desecho	Tratamiento previo
	es necesario separar mecánicamente las pilas que contienen mercurio por tamaño para que el proceso de calcinación sea eficaz. (Nomura Kohsan Co. Ltd., 2007).
<i>Fangos cloacales</i>	<i>Deshidratación</i> Los fangos cloacales tienen un alto contenido de agua (de más del 95 %). Por eso, los fangos contaminados con mercurio tienen que ser deshidratados hasta alcanzar del 20 al 35 % de sólidos antes de cualquier tratamiento térmico. Tras la deshidratación, los fangos cloacales con alto contenido de mercurio se deberán tratar mediante un proceso de calcinación (Nomura Kohsan Co. Ltd., 2007; USEPA, 1997a). El agua extraída probablemente necesite ser tratada como desecho de mercurio, dependiendo del contenido de mercurio que posean.
<i>Desechos de productos que contienen mercurio</i>	<i>Extracción</i> Cuando se recojan desechos de productos que contienen mercurio, como termómetros y barómetros, se deberá procurar en lo posible que no se rompa ningún producto. Tras la recogida de estos desechos, se deberá extraer el mercurio de los productos y destilarlo para su purificación bajo presión reducida.
<i>Desechos que contienen mercurio adherido a los aparatos</i>	<i>Desmontaje</i> Algunos aparatos eléctricos suelen tener empotrados interruptores y relés eléctricos que son desechos de mercurio. Por eso, esos desechos se deben extraer de los aparatos sin romper el vidrio exterior. Los monitores de computadoras y los televisores con visualizadores de cristal líquido (LCD) de pantalla plana contienen una o más lámparas pequeñas para la iluminación que suelen colocarse junto al borde exterior de la pantalla. Pese a que las tecnologías actuales utilizan diodos emisores de luz (LED) en estas pequeñas lámparas, las pantallas de LCD antiguas contienen lámparas fluorescentes. Estas lámparas pueden romperse durante la manipulación y el procesamiento mecanizado y liberan entonces vapores de mercurio, por lo que se deberán sacar manualmente con cuidado ⁶⁷ y no deberán ser objeto de procesamiento mecanizado, como la fragmentación, a menos que las fragmentadoras cuenten con el equipo de control de la contaminación necesario para realizar ese tipo de operaciones y se cuente con la licencia y los permisos para procesar lámparas fluorescentes, como en las plantas de tratamiento de mercurio. Para más información, véase la sección 7.3 de la Asociación para la acción en materia de equipos de computadoras del Convenio de Basilea (PACE), <i>Directrices sobre la recuperación y el reciclado ambientalmente racional de materiales de equipos de computación al final de su vida útil</i> (PNUMA, 2013). Para obtener más información sobre la presencia de mercurio en la retroiluminación de los LCD, consulte: <i>Demonstration of flat panel display recycling technologies</i> (Programa de Acción de Recursos de Desecho, 2010).

b) Reciclado/regeneración/eliminación del mercurio o los compuestos de mercurio (R4, R5, R7, R8)

i) Tratamiento térmico

189. Si se utilizan instalaciones de tratamiento térmico para la recuperación de mercurio de los desechos que contienen mercurio o compuestos de mercurio o que están contaminados con estos, como los fangos cloacales, los suelos contaminados y otros desechos de sitios contaminados, deberían dotarse de equipos con tecnología de captación de vapores de mercurio (ITRC, 1998; Chang y Yen, 2006).

190. La desorción térmica es un proceso que utiliza intercambio de calor ya sea indirecto o directo para calentar los contaminantes principalmente orgánicos a una temperatura suficientemente alta para volatilizarlos y separarlos de una matriz sólida contaminada y posteriormente captarlos o destruirlos. La desorción térmica mediante intercambio térmico indirecto es una opción que se recomienda para el mercurio y sus compuestos. Como medio de transferencia para los componentes vaporizados se utiliza aire, gas de combustión o gas inerte. Los sistemas de desorción térmica implican procesos de separación

⁶⁷ Véase la sección III.J para obtener información detallada sobre las precauciones de seguridad laboral.

física que transfieren los contaminantes de una fase a otra. Los sistemas tienen dos componentes principales, un desorbedor y un sistema de tratamiento de los gases de salida⁶⁸.

191. Existen varios procesos de evaporación para el tratamiento de desechos de mercurio, entre otros, la destilación en horno rotatorio y el procesamiento térmico al vacío.

192. La destilación en horno rotatorio sirve para extraer y recuperar el mercurio de desechos como fangos minerales industriales, fangos del movimiento del gas natural, carbón activado, catalizadores, pilas de botón y suelos contaminados por evaporación y reciclado de productos resultantes que no contienen mercurio (por ejemplo, vidrio, hierro y metales no ferrosos, zeolitas).

193. En el proceso de destilación en horno rotatorio los desechos alimentados, tales como carbón activado, catalizadores, suelos, pilas y lodo acondicionado, son transportados por una cadena de arrastre directamente hacia la tolva alimentadora del horno rotatorio. Los desechos son tratados continuamente a temperaturas de hasta 800 °C. Como resultado de ello, el mercurio se transforma en fase gaseosa y puede ser extraído del vapor de escape del horno rotatorio. El tratamiento se lleva a cabo bajo presión para evitar emisiones de polvo. El gas de escape del horno rotatorio es transportado por un ciclón, el cual separa las partículas de polvo, hacia una cámara de poscombustión. Después de la combustión, el gas de escape restante pasa a un tratamiento de tres etapas, donde se enfría para lograr una condensación del mercurio y del agua, pasa por un electrofiltro para lograr la deposición de aerosoles, y es alimentado entonces a un sistema de filtros de carbón activado para su limpieza final⁶⁹.

194. Los desechos tratados previamente, como el polvo de mercurio y azufre de las lámparas fluorescentes, el vidrio de las lámparas trituradas, las pilas que contienen mercurio purificadas, los fangos cloacales deshidratados y el suelo cribado, pueden ser tratados en instalaciones de calcinación/retorta, equipadas con una tecnología que capta los vapores de mercurio mediante la cual se puede recuperar el mercurio. Sin embargo, cabe señalar que durante la calcinación y otros tratamientos térmicos se emiten metales volátiles (incluidos contaminantes orgánicos persistentes), los cuales se trasladan desde los desechos alimentados a los gases de combustión resultantes y a las cenizas volantes. Por eso se deben emplear dispositivos para el tratamiento de los gases de combustión a fin de captar los contaminantes volatilizados y evitar que se emitan contaminantes al medio ambiente (véase la subsección III.H.I *infra*).

195. Los desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio pueden tratarse en un horno continuo de tostado y reactivación. El material se limpia en el horno a temperaturas de hasta 850 °C. A esta temperatura se destruyen y/o vaporizan térmicamente los compuestos volátiles que son absorbidos, adsorbidos o quimisorbidos en el material, lo cual incluye el mercurio y el azufre. Es importante señalar que a 850 °C el sulfuro de mercurio (HgS o cinabrio), que es muy estable, se descompone en mercurio y azufre. Por consiguiente, el sistema es especialmente capaz de tratar adsorbentes (por ejemplo, carbón activado impregnado de azufre, protectores de mercurio) que fijan el mercurio en forma de HgS en el adsorbente. El carbón activado se reactiva por medio de la temperatura y el vapor, liberando los contaminantes atrapados en los poros y abriendo dichos poros para aumentar la superficie del carbón. Este proceso maximiza la eficacia del carbón activado como material filtrante para su reutilización. De esta manera el carbón activado se puede recargar varias veces antes de eliminarlo. Los catalizadores usados, así como los protectores de Hg, se descontaminan para posibilitar la subsiguiente recuperación de Cu o Zn en un horno de fundición. Los contaminantes, como el mercurio, que quedan después del horno viajan con los gases de escape al sistema de tratamiento de gases residuales. Aquí pasan primero por una cámara de poscombustión a temperaturas de 1 000 a 1 200 °C, donde se incineran los compuestos orgánicos. Después de pasar por la cámara de poscombustión, el gas de desecho es templado a 40 °C y finalmente limpiado en un sistema de 4 depuradores (ácido, básico, lechada de cal y peróxido), un filtro de bolsa y, por último un filtro de carbón activado. El mercurio es trasladado al lodo de los dos primeros depuradores. Este lodo se retira en lotes y es llevado a la planta de destilación de mercurio para recuperar el mercurio en otro proceso de tratamiento ulterior⁷⁰.

196. El procesamiento térmico al vacío permite el tratamiento de termómetros, pilas, especialmente las de botón, amalgama dental, conmutadores y rectificadores eléctricos, polvo fluorescente, tubos de

⁶⁸ La primera unidad de desorción térmica en gran escala para el tratamiento de desechos que contienen mercurio fue construida para la rehabilitación de la planta química Marktreidwitz (CFM) en Wölsau (Alemania). La planta comenzó a funcionar en octubre de 1993, incluida la primera etapa de optimización. Entre agosto de 1993 y junio de 1996 se trataron con éxito unas 50.000 toneladas de desechos sólidos contaminados con mercurio. Las unidades de desorción térmica se utilizaron también para descontaminar la vieja planta de cloro-álcali de Usti nad Labem en la República Checa y para descontaminar el suelo en Taipei (Chang y Yen, 2006).

⁶⁹ Véase https://www.remondis-qr.de/fileadmin/user_upload/remondis_qr/downloads/Anlagenbeschreibung_Drehrohr_RE-QR-engl_20201201.pdf.

⁷⁰ <https://batrec.ch/recycling-services/#active-carbon>.

escape, vidrio triturado, suelos, fangos cloacales, residuos de la minería, en especial de la extracción de mercurio primario, y materiales catalizadores, entre otros. El proceso térmico al vacío abarca, por regla general, las siguientes etapas:

- a) Calentamiento de los desechos alimentados en un horno especial o en una operación de carga a temperaturas de entre 340 °C y 650 °C y presiones de pocos milibares para que se evapore el mercurio contenido en los desechos;
- b) Tratamiento térmico posterior del vapor que contiene mercurio a temperaturas que fluctúan entre 800 °C y 1000 °C, donde, por ejemplo, se pueden destruir los componentes orgánicos;
- c) Captura y enfriamiento del vapor que contiene mercurio;
- d) Destilación para generar mercurio líquido puro.

197. El residuo al final del procesamiento térmico al vacío, en lo esencial, no contiene mercurio y se puede reciclar o eliminar de otra manera, según su composición⁷¹.

ii) Oxidación química

198. La oxidación química del mercurio y de los compuestos orgánicos de mercurio en los desechos tiene como finalidad convertir el mercurio en sales de mercurio y destruir los compuestos orgánicos de mercurio. La oxidación química es un método eficaz para tratar los desechos líquidos y acuosos tales como líquidos residuales y relaves, en especial de la extracción de mercurio primario o de la extracción de oro artesanal y en pequeña escala que contienen mercurio o están contaminados con este. Los reactivos oxidantes utilizados en el proceso de oxidación química son el hipoclorito de sodio, el ozono, el peróxido de hidrógeno y el cloro libre (gas). La oxidación química se puede llevar a cabo como proceso continuo o por tandas en tanques de mezcla o reactores de gasto tipo pistón. Los compuestos de haluro de mercurio que se forman en el proceso de oxidación son separados de la matriz de desechos, tratados y enviados para el siguiente tratamiento en la forma de lixiviación y precipitación de ácidos (USEPA, 2007a).

iii) Precipitación química

199. La precipitación utiliza sustancias químicas para transformar los contaminantes disueltos en sólidos insolubles que se pueden precipitar o eliminar mediante floculación o filtración. En la coprecipitación, el contaminante que se trata de separar puede estar disuelto, en forma de coloide o en suspensión. Los contaminantes disueltos no se precipitan, sino que son adsorbidos en otros especímenes que se precipitan. Los contaminantes coloidales o suspendidos se entremezclan con otros especímenes precipitados o son extraídos mediante procedimientos como la coagulación y la floculación. Los procedimientos para extraer el mercurio de las aguas residuales pueden consistir en una combinación de precipitación y coprecipitación. El sólido precipitado/coprecipitado se extrae entonces de la fase líquida mediante clarificación o filtración. Para obtener información más detallada consulte el informe titulado *Treatment technologies for mercury in soil, waste, and water* (USEPA, 2007b).

iv) Tratamiento por adsorción

200. Los materiales de adsorción mantienen el mercurio en sus superficie mediante distintos tipos de fuerzas químicas, como enlaces de hidrógeno, interacciones dipolo-dipolo y las interacciones de van der Waals. La capacidad de adsorción se ve afectada por la extensión de la superficie, la distribución del tamaño de los poros y la química de superficie. Los desechos líquidos se hacen pasar por materiales de adsorción que suelen estar dispuestos en una columna, mediante la cual son adsorbidos el mercurio o los compuestos de mercurio. La columna se debe regenerar o sustituir con nuevos medios cuando los espacios de adsorción se llenan (USEPA, 2007b). El adsorbente consumido resultante es un desecho de mercurio.

201. Ejemplos de materiales de adsorción son el carbón activado y la zeolita. El carbón activado es un material carbónico que tiene muchas aberturas finas interconectadas que, por regla general, puede tener una base de madera (cáscara de coco y serrín), aceite o carbón. Se puede clasificar, según la forma, en carbón activado pulverulento y carbón activado granular. En la red comercial se dispone de muchos productos de carbón activado que ofrecen las ventajas específicas de sus distintos materiales. El mercurio y otros metales pesados, así como las sustancias orgánicas se adsorben en el carbón activado (Bansal, 2005). Las zeolitas son silicatos de origen natural que también se pueden producir sintéticamente. Las zeolitas, en particular la clinoptilolita, tienen una gran afinidad con los iones de metales pesados, cuyo mecanismo de adsorción es un intercambio de iones (Chojnacki y otros, 2004). Las resinas que intercambian iones han demostrado su utilidad para eliminar el mercurio de las

⁷¹ Véase www.gmr-leipzig.de/gbverfahren.htm.

corrientes acuosas, en particular en concentraciones de mercurio del orden de 1 a 10 µg/l. Las aplicaciones que utilizan intercambio de iones suelen servir para tratar sales mercúricas, como los cloruros de mercurio, que se encuentran en las aguas residuales. El procedimiento del intercambio de iones supone suspender un medio, que puede ser una resina sintética o mineral, en una solución en la que los iones de metal suspendidos se intercambian en el medio. La resina de intercambio de aniones se puede regenerar en soluciones de ácido muy ionizado, pero esto es difícil debido a que las sales de mercurio no están muy ionizadas y no se pueden limpiar fácilmente de la resina. Por eso habrá que desechar la resina. Además, los compuestos de mercurio orgánico no se ionizan, de manera que no se pueden extraer fácilmente utilizando el intercambio de iones convencional. Si se utiliza una resina de recolección, el proceso de adsorción suele ser irreversible y la resina deberá eliminarse como desecho peligroso en una instalación de eliminación que no conlleve la recuperación (Amuda, 2010).

202. La resina quelante es una resina de intercambio de iones que fue creada como polímero funcional que capta y elimina selectivamente iones, incluidos diversos iones metálicos, de las soluciones. Está hecha de una estructura de malla tridimensional a base de un polímero con un grupo funcional quelante que combina iones metálicos. La resina quelante que más se utiliza es el poliestireno, seguido del plástico fenólico y la resina epoxídica. Las resinas quelantes se utilizan para el tratamiento de las aguas residuales de la galvanoplastia para extraer el mercurio y otros metales pesados que quedan después de la neutralización y la coagulación de los sedimentos o para captar iones metálicos mediante su adsorción de aguas residuales cuya concentración de iones metálicos es relativamente baja. El tipo de resina quelante de adsorción de mercurio puede realmente captar el mercurio de las aguas residuales (Chiarle y Ratto, 2000).

v) Destilación de mercurio – purificación

203. Tras el tratamiento de los desechos, el mercurio recogido es purificado mediante destilación sucesiva (USEPA, 2000). La destilación para producir mercurio de gran pureza consta de muchas etapas, cada una de las cuales permite ir logrando cada vez un mayor grado de pureza. El mercurio de alta pureza es necesario para muchos de sus usos o si el mercurio se ha de almacenar durante varios años, ya que ese alto grado de pureza va a contribuir a evitar reacciones químicas entre el contenedor y las impurezas.

2. Operaciones que no conducen a la recuperación de mercurio o compuestos de mercurio

204. Antes de someter los desechos de mercurio a la eliminación definitiva conforme a las operaciones D5 y D12, se deberán tratar para que cumplan los criterios de aceptación de las plantas de eliminación (véanse las subsecciones III.G.2 b) y III.G.2 c) *infra*). Los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio se deberán estabilizar y/o solidificar antes de su eliminación definitiva, y la eliminación definitiva se deberá llevar a cabo conforme a las leyes y reglamentos nacionales y locales. Cabe señalar que actualmente existen diversos métodos de eliminación definitiva, como por ejemplo los métodos mencionados en los párrafos 214 y 219. Las operaciones de tratamiento previas a las operaciones D5 y D12 se clasifican dentro de la operación D9 (véase la subsección III.G.2 a) *infra*).

a) Tratamiento fisicoquímico (D9)

i) Estabilización y solidificación (E/S)

205. Los procesos de estabilización son reacciones químicas que pueden cambiar la peligrosidad del desecho reduciendo la movilidad y a veces la toxicidad de los constituyentes del desecho. Los procesos de solidificación solo cambian el estado físico de los desechos (por ejemplo, conversión de un líquido en un sólido) mediante el uso de aditivos, sin cambiar las propiedades químicas de los desechos (Comisión Europea, 2000). A la combinación de esos procesos se les denomina E/S o, en ocasiones, “conversión”, lo cual se refiere a la transformación química del estado físico del mercurio del estado líquido a sulfuro de mercurio o a un compuesto químico comparable que es igualmente o más estable e igualmente o menos soluble en agua y que no presenta mayores riesgos ambientales o sanitarios que el sulfuro de mercurio (Unión Europea, 2017).

206. La estabilización y solidificación se aplica, por ejemplo, a los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio y a los desechos contaminados con mercurio como suelos, fangos, cenizas y líquidos. La solidificación y estabilización reduce la movilidad de los contaminantes en el medio de desecho al aglutinarlos físicamente en una masa estabilizada o induciendo reacciones químicas que pueden reducir su solubilidad o volatilidad, o ambas, y por ende reducen su movilidad (USEPA, 2007b). En los Estados Unidos solamente se pueden estabilizar los desechos con baja concentración de mercurio (por ejemplo, los que tienen un contenido de mercurio inferior a 260 mg/kg), después de lo cual se pueden depositar en el vertedero.

207. La estabilización induce reacciones químicas entre el agente estabilizador y los contaminantes de los desechos para reducir la movilidad de los contaminantes, y la solidificación incluye la aglutinación física o encapsulamiento de los contaminantes dentro de una masa estabilizada. La solidificación se utiliza para encapsular o absorber los desechos, y forma un material sólido cuando en los desechos están presentes líquidos libres que no son mercurio. Los desechos se pueden encapsular de dos maneras: microencapsulación y macroencapsulación. La microencapsulación es el proceso de mezclar los desechos con un material encapsulante antes de que se produzca la solidificación. La macroencapsulación es el proceso de verter un material encapsulante encima y alrededor de la masa de desechos, de manera de encerrarlos en un bloque sólido (USEPA, 2007b).

208. En sentido general, el proceso de solidificación supone la mezcla de suelos o desechos con aglutinantes como cemento Portland, cemento con polímeros de azufre, aglutinantes de sulfuro o fosfato, polvo de hornos de cemento, resinas de poliéster o compuestos de polisiloxano para crear un fango, una pasta u otro tipo de sustancia semilíquida, que por un tiempo se cura hasta formar un sólido (USEPA, 2007b).

209. Se pueden aplicar dos procedimientos químicos fundamentales al proceso de E/S de los desechos de mercurio (Hagemann, 2009):

- a) Conversión química del sulfuro mercúrico;
- b) Amalgamación (formación de una aleación sólida con los metales idóneos).

210. En ambos métodos se puede reducir el riesgo de la volatilidad y de la lixiviabilidad del mercurio hasta un nivel suficiente, si el coeficiente de conversión (porcentaje del mercurio que reacciona) se aproxima o equivale al 100 %. Si no se logra un coeficiente suficientemente alto, la probabilidad de la volatilidad y la lixiviabilidad del mercurio sigue siendo elevada, como ocurre con las amalgamas (Mattus, 1999).

211. Si bien las tecnologías apropiadas para la estabilización y solidificación de desechos consistentes en mercurio pueden reducir las liberaciones de mercurio al medio ambiente, la eficacia a largo plazo de estas tecnologías no ha sido suficientemente estudiada. Por lo tanto, es necesario recopilar y analizar información y datos sobre dicha eficacia.

212. Cuando se eliminan desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio que han pasado por el proceso E/S, se debe prestar especial atención a la combinación de E/S y métodos para la eliminación definitiva de dichos desechos. El sulfuro de mercurio se descompone térmicamente a la temperatura del fuego y puede oxidarse por el oxígeno atmosférico a aproximadamente 250 - 300 °C para formar mercurio gaseoso y dióxido de azufre. Por lo tanto, las medidas para prevenir incendios y evitar la liberación de mercurio gaseoso deben tenerse en cuenta en la fase de planificación de las instalaciones de eliminación.

Estabilización y solidificación como sulfuro mercúrico

213. Uno de los métodos más importantes y mejor investigados de la E/S del mercurio es la producción del sulfuro mercúrico (HgS), el cual es mucho menos soluble y menos volátil que la mayoría de los compuestos de mercurio, y por ello su movilidad en el medio ambiente es menor. El mercurio se mezcla con azufre elemental o con otras sustancias que contienen azufre para formar HgS. La producción de HgS puede dar lugar a dos tipos diferentes de HgS: alfa-HgS (cinabrio) y beta-HgS (meta-cinabrio). El alfa-HgS puro es de color rojo intenso y tiene una solubilidad en el agua un poco menor que el beta-HgS puro, el cual es de color negro. El HgS es un polvo con una densidad de 2,5 a 3 g/cm³.

214. En general, el HgS puede producirse mezclando mercurio y azufre a temperatura ambiente durante determinado tiempo hasta que se produce HgS. Para comenzar el proceso de reacción, hace falta determinada energía de activación que se puede obtener mezclando bien esa combinación. Entre otros factores, las elevadas tasas de desviación y las altas temperaturas durante el proceso favorecen la producción de alfa-HgS, mientras que una mayor duración del proceso favorece la creación de beta-HgS. Un tiempo de molturación excesivo en presencia de oxígeno puede terminar por producir óxido de mercurio (II) o HgO. Dado que el HgO es mucho más soluble en el agua que el HgS, hay que evitar su creación mediante la molturación en condiciones atmosféricas inertes o mediante la adición de un antioxidante (por ejemplo, sulfuro de sodio). Debido a que la reacción entre el mercurio y el sulfuro es exotérmica, una atmósfera inerte contribuye a una operación sin riesgos. Aunque el proceso de conversión es seguro y su realización es relativamente simple, son necesarios controles estrictos para evitar las pérdidas volátiles del mercurio durante la conversión. Además, deben realizarse pruebas a los residuos del tratamiento para garantizar que la conversión del sulfuro de mercurio sea completa.

215. El sulfuro de mercurio también se puede formar mediante la creación de una reacción entre el mercurio y el azufre en la fase de vapor. La reacción del mercurio con el azufre en un recipiente sellado a temperatura y presión elevadas también puede formar alfa-HgS o cinabrio (Patente de los Estados Unidos: US 7691361 B1, 10 de abril de 2010). Este proceso está disponible comercialmente en los EE. UU.⁷², aunque los reglamentos de EE. UU. relativos a la eliminación de desechos actualmente prohíben el depósito en vertederos de la mayoría de los desechos con alta concentración de mercurio.

216. El HgS es muy insoluble en agua y su volatilidad es muy baja. A pesar de que el HgS es químicamente muy estable y no es reactivo, su exposición dilatada a condiciones ambientales dará lugar a su conversión en otros compuestos de mercurio. Por ello, el aislamiento del HgS del medio ambiente mediante encapsulación y eliminación en un vertedero diseñado especialmente o el almacenamiento subterráneo permanente, podrían ser necesarios para garantizar que el HgS no se convierta en otros compuestos de mercurio. Además, el hecho de que la materia orgánica disuelta y las concentraciones altas de cloruro en el lixiviado aumentan las liberaciones de mercurio a partir del HgS (Waples y otros, 2005; *Science Applications International Corporation*, 2002) sugiere que el mercurio convertido en HgS debería eliminarse de forma tal que se garantice que los desechos no entren en contacto con el agua u otros tipos de desechos, especialmente los que contienen materia orgánica y cloruro. Además, habida cuenta de que los microorganismos que habitan los sistemas de avenamiento ácido de minas, entre los que predominan las bacterias oxidantes de hierro y de azufre, en el microcosmos con beta-metacinarita (beta-HgS) aumentan las concentraciones de Hg (Jew y otros, 2014), la exclusión o, al menos, la inhibición de la influencia de esos microorganismos en vertederos diseñados especialmente y el almacenamiento subterráneo permanente podrían ser necesarios para eliminar el mercurio tratado como HgS.

217. Por ser un material pulverulento fino, la manipulación del HgS está sujeta a requisitos específicos, como la solidificación, para evitar, por ejemplo, el riesgo de desprendimiento de polvo. El proceso de solidificación provoca un aumento del volumen de aproximadamente 300 % y del peso en aproximadamente 16 %, basado en el peso molecular en comparación con el mercurio. Para la solidificación del sulfuro de mercurio, se deben utilizar materiales de bajo contenido de álcalis debido a que un estudio realizado recientemente indica que la liberación de mercurio a partir del sulfuro de mercurio aumenta cuando el valor de pH del eluato es superior a 10 (Mizutani, Kadotani y Kanjo, 2010).

218. Se dispone también de procesos de E/S en gran escala de desechos consistentes en mercurio que utilizan azufre para formar HgS:

a) Un proceso tiene lugar en una mezcladora al vacío que funciona en una atmósfera inerte al vacío que asegura un buen proceso de control y una operación sin riesgos. La mezcladora funciona por tandas. Un filtro de polvo y un filtro de carbón activado impiden que salgan emisiones de la instalación. La reacción entre el mercurio y el azufre tiene lugar en proporción estequiométrica. El producto final consiste en sulfuro mercúrico rojo, que es termodinámicamente estable hasta los 350 °C⁷³; y

b) Otro proceso consiste en una reacción química húmeda. El azufre activo de una solución de polisulfuro reacciona con el mercurio metálico para convertirse en HgS. Los beneficios de utilizar un proceso químico húmedo con respecto a un proceso de polvo seco son que reduce las posibilidades de formar HgO (óxido de mercurio) sin la necesidad de un entorno de gas inerte y sin los riesgos de explosión asociados con el procesamiento de polvos secos. La reacción química húmeda se realiza a baja temperatura (60 - 70 °C). La reacción química debe controlarse cuidadosamente para detener la formación de compuestos tóxicos no deseados. La tasa de conversión de Hg a HgS es superior al 99,999 por ciento con una concentración restante de mercurio metálico en la producción de menos de 100 mg/kg⁷⁴.

⁷² <http://www.bethlehemapparatus.com/mercury-retirement>.

⁷³ https://www.remondis-qr.de/fileadmin/user_upload/remondis_qr/downloads/REMONDIS_QR_HgS_process_description.pdf.

⁷⁴ <https://batrec.ch/recycling-services/?cn-reloaded=1#stabilisation-of-mercury>.

Estabilización y solidificación del polímero de azufre⁷⁵

219. El proceso de estabilización y solidificación del polímero de azufre (SPSS)⁷⁷ consta de la estabilización del azufre seguida de la solidificación, con la ventaja de que hay menor vaporización y lixiviación del mercurio, porque el producto final es monolítico y ocupa poco espacio. El proceso consiste en dos pasos: en el primer paso el mercurio se estabiliza con el azufre para formar beta-HgS (polvo de meta-cinabarita) (López y otros, 2010; López-Delgado y otros, 2012); en el segundo paso, el beta-HgS se incorpora y microencapsula en una matriz de sulfuro polimérico a 135 °C, para obtenerse un fluido que se enfría a temperatura ambiente en moldes y forma bloques sólidos (monolitos). El segundo paso es la creación de una barrera para evitar liberaciones de mercurio al medio ambiente y con ello minimizar la posibilidad de que el HgS se convierta en otras formas de mercurio al reducirse su contacto con el medio ambiente. El proceso de SPSS tiene un bajo consumo de energía, provoca pocas emisiones de mercurio, no requiere agua, no crea efluentes y no genera otros desechos aparte del HgS. Se deberían establecer controles para evitar posibles emisiones de mercurio y garantizar condiciones seguras para los trabajadores y el medio ambiente, entre los que figuran controles especialmente diseñados para prevenir posibles incendios y explosiones.

220. Con este procedimiento se puede lograr una carga relativamente alta del monolito (alrededor de 70 %). La realización de este proceso es relativamente simple y está bien documentada, y el producto final es prácticamente insoluble en el agua, tiene una gran resistencia a la corrosión, soporta ciclos alternos de congelación y descongelación y posee una gran resistencia mecánica. La tecnología del SPSS puede aplicarse directamente a los desechos consistentes en mercurio con diferentes grados de pureza, sin necesidad de destilación previa, y a una amplia variedad de desechos que contienen mercurio sin tratamiento previo de los desechos (López y otros, 2010, López-Delgado y otros, 2012, López y otros, 2015). Todos los productos finales estabilizados y microencapsulados (a partir de mercurio metálico, desechos de cinc, desechos de aluminio y polvo de lámparas fluorescentes) son sólidos compactos que poseen estabilidad y resistencia similares a las del hormigón. Por ello, el proceso de SPSS asegura la completa inmovilización del mercurio, lo hace impermeable y con una porosidad extremadamente baja, lo cual minimiza el riesgo de liberaciones de mercurio al medio ambiente. Los productos finales son bloques monolíticos duros cuya forma puede adaptarse para facilitar el transporte.

221. Se realizaron pruebas de lixiviación con muestras monolíticas (de 40 x 40 x 160 mm) según las normas europeas TS 14405 (CEN, 2017) y EN-12457-4 (CEN, 2002a), con muestras de percolación por flujo dinámico en monolitos encapsulados y de lixiviación por agitación del material granular obtenido mediante trituración monolítica. Todas las concentraciones de mercurio halladas en los lixiviados, en una relación de líquido/sólido de 10 l/kg, fueron inferiores a 0,01 mg/kg, con lo cual todos los monolitos reunían los criterios de aceptación establecidos por la Unión Europea para los vertederos de desechos inertes (<0.01 mg/kg), conforme a la Decisión del Consejo 2003/33/CE del Consejo que establece los criterios y procedimientos para la aceptación de los desechos en los vertederos (Unión Europea, 2003).

222. Otro ejemplo de una tecnología similar es la solidificación del beta-HgS con azufre modificado. El primer paso es formar beta-HgS mezclando mercurio de 99,9 % o más de pureza con polvo de azufre, y el segundo paso es solidificar el beta-HgS con azufre modificado mezclando las dos sustancias durante una hora y calentándola la mezcla posteriormente hasta 130 °C durante una hora. Los resultados de una prueba de lixiviación japonesa (JLT-13) de sulfuro de mercurio solidificado muestran que el coeficiente de lixiviación del producto oscila entre 0,0009 y 0,0018 mg/l, lo cual es inferior a la norma de la prueba de elución (0,005mg/l) (Comité sobre la consideración de la gestión ambientalmente racional de los desechos de mercurio, 2014).

Estabilización y solidificación con microcementos de azufre⁷⁸

223. El tratamiento de los desechos de mercurio con microcementos de azufre es otra tecnología de E/S. La aplicación de esta tecnología da por resultado una matriz sólida que asegura el confinamiento del mercurio debido a su precipitación en forma de óxidos, hidróxidos y sulfuros muy insolubles. La

⁷⁵ Esta sección contiene información proporcionada por la entidad Centro Tecnológico Nacional de Descontaminación del Mercurio (CTNDM) (España). Para más información sírvase ponerse en contacto con: info@ctndm.es o visite el sitio web: <http://www.ctndm.es>.

⁷⁶ En la especificación normalizada ASTM C1159-98 figura una definición del cemento polimérico de azufre.

⁷⁷ El proyecto de una planta industrial en España para desarrollar este proceso ya está elaborado y el presupuesto para su construcción ya está aprobado. La disponibilidad comercial de esta planta está prevista para finales de 2015.

⁷⁸ Esta sección contiene información proporcionada por la entidad *Cement International Technologies S.L.* Para más información, sírvase ponerse en contacto con: info@cementinternationaltechnologies.com o consulte su sitio web en: <http://www.cemintech.com/es>.

tecnología está disponible comercialmente y ha sido probada en desechos con bajos niveles de contaminación de mercurio ($\text{Hg} \leq 2 \%$ en peso).

224. Una vez caracterizado el material contaminado que se va a tratar, se determina la cantidad y el tipo de microcemento adecuado para la aplicación. Los microcementos deben tener las características siguientes para lograr un nivel adecuado de estabilización y microencapsulación del mercurio contenido en los materiales contaminados:

- a) Tienen que ser inorgánicos y todas las partículas tienen que ser inferiores a un determinado tamaño (varios micrones);
- b) Tienen que contener componentes estabilizadores del mercurio, como sulfuros de álcalis;
- c) Tienen que poseer propiedades mecánicas muy altas, para evitar la volatilización y la lixiviación del mercurio;
- d) Deben tener un porcentaje de escoria de altos hornos superior a 60 %, un contenido de componente C3A de cemento clínker Portland inferior a 3 % y un contenido de álcali inferior a 0,6 %.

225. El proceso consiste en mezclar los desechos contaminados con mercurio y el microcemento seleccionado de azufre y con agua. Entonces la mezcla se descarga en el molde que se escoja y se madura de 24 a 48 horas en locales estancos y protegidos contra fugas. El producto final puede adoptar diferentes formas; para los desechos más contaminados se recomiendan las que presenten menores superficies expuestas, tales como grandes bloques cúbicos.

226. La tecnología del tratamiento de microcemento de azufre ha sido probada, entre otros, con desechos de mercurio obtenidos del dragado de fangos de la represa Flix en la provincia de Tarragona (España). Los productos finales aseguran un alto nivel de fortaleza y durabilidad, y posibilitan su manipulación y transporte seguros. Los valores de lixiviación siguiendo pruebas con arreglo a la norma EN 12457-4 (CEN, 2002a) con una proporción agua/sólido de 10/1 son inferiores a 0,003 mg/kg, muy por debajo de los criterios de aceptación de la Unión Europea para vertederos de desechos sólidos inertes ($<0,01$ mg/kg, conforme a la Decisión 2003/33/CE). Es un producto inerte y tiene gran fortaleza y durabilidad, lo cual posibilita manipularlo mecánicamente y transportarlo con seguridad.

Amalgamación

227. Se entiende por amalgamación la disolución y solidificación del mercurio en otros metales como cobre, níquel, zinc y estaño, que da por resultado un producto sólido no volátil. Se trata de un subconjunto del proceso de E/S. Se utilizan dos procesos genéricos para la amalgamación del mercurio en los desechos: sustitución acuosa y sustitución no acuosa. El proceso acuoso consiste en mezclar un metal de base finamente dividido como el zinc o el cobre con las aguas residuales que contienen sales de mercurio disueltas; el metal de base reduce las sales mercuríicas y mercuriosas a mercurio, que se disuelve en metal para formar una aleación metálica de mercurio sólida denominada amalgama. El proceso no acuoso consiste en mezclar polvos metálicos finamente divididos en el mercurio líquido de desecho para formar una amalgama solidificada. El proceso de sustitución acuosa es aplicable tanto a las sales de mercurio como al mercurio, mientras que el proceso no acuoso es aplicable solo al mercurio. Ahora bien, el mercurio de la amalgama resultante puede volatilizarse e hidrolizarse (lixiviarse). De ahí que la amalgamación se utilice casi siempre en combinación con una tecnología de encapsulación, aunque teniendo en cuenta las preocupaciones en cuanto a la posible volatilización y lixiviación, no se debería considerar como una primera opción para tratar desechos consistentes en mercurio (USEPA, 2007b).

ii) Lavado de suelos y extracción de ácidos

228. El lavado de suelos es un tratamiento *ex situ* del suelo y los sedimentos contaminados con mercurio. Se trata de un proceso que utiliza agua en una combinación de separación física de partículas por tamaño y separación química acuosa para reducir las concentraciones de contaminantes en el suelo. El proceso se basa en el concepto de que la mayoría de los contaminantes tienden a aglutinarse con partículas de suelo más finas (arcilla y tarquín) y no con las partículas más grandes (arena y grava). Se pueden utilizar métodos físicos para separar las partículas más grandes relativamente limpias de las partículas más finas porque estas últimas se adhieren a las más grandes mediante procesos físicos (compactación y adhesión). Por eso, este proceso concentra la contaminación adherida a las partículas más finas para seguirla tratando. La extracción de ácidos es también una tecnología *ex situ* que utiliza una sustancia química extractora como el ácido clorhídrico o el ácido sulfúrico para extraer contaminantes de una matriz sólida disolviéndolos en el ácido. Los contaminantes metálicos se recuperan de la solución lixivante ácida mediante técnicas como la electrólisis de fase acuosa. Se puede obtener información más detallada en *Treatment technologies for mercury in soil, waste, and water* (USEPA, 2007b).

b) Eliminación en vertederos diseñados especialmente (D5)

229. Los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio que resultan de la E/S que cumplan los criterios de aceptación para los vertederos controlados definidos en los reglamentos nacionales o locales, podrán ser evacuados en dichos vertederos, en los cuales se deberán tomar medidas adicionales para reducir al mínimo las liberaciones y la metilación del mercurio, por ejemplo, mediante la prevención de la entrada de aguas pluviales o subterráneas, la prohibición de mezclar diferentes tipos de desechos en el vertedero, el mantenimiento de registros de las cantidades de desechos y de las áreas de vertido, la recolección de lixiviados y la vigilancia a largo plazo de las liberaciones de mercurio y metilmercurio de los vertederos, por ejemplo, hacia el aire y las aguas subterráneas (PNUMA, 2022b).

230. Cuando los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio resultantes de la E/S son eliminados en un vertedero controlado, se deberá prestar especial atención a la descomponibilidad térmica de dichos desechos. La cobertura final de un vertedero puede ser permeable al aire a largo plazo, por lo que el sulfuro de mercurio puede entrar en contacto con el oxígeno atmosférico y oxidarse para formar mercurio y sulfato. La formación de metilmercurio puede ocurrir en ciertas condiciones geoquímicas. Tanto el mercurio gaseoso como el metilmercurio pueden salir del vertedero a través del circuito de gas (gas de vertedero) (Agencia Federal de Medio Ambiente de Alemania, 2014).

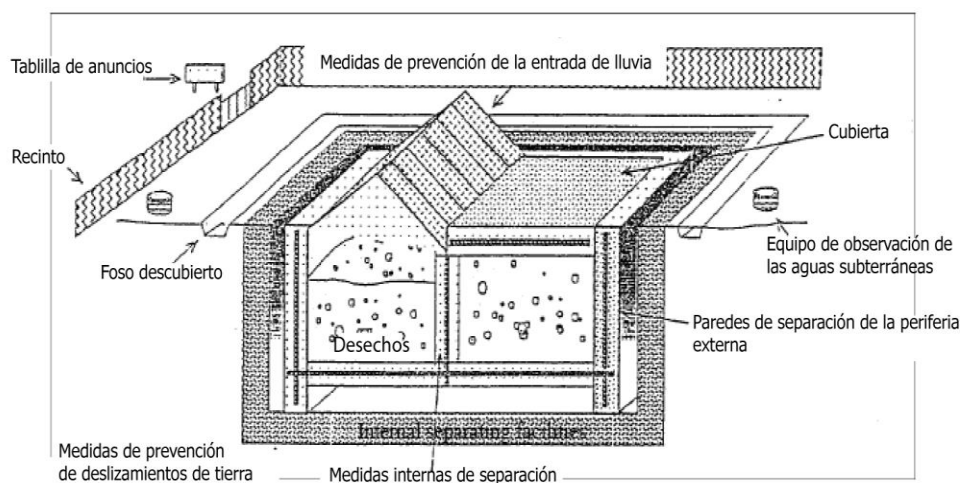
231. Además de la prevención de incendios, los métodos para estabilizar y solidificar los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio, así como la estructura y la cobertura final del vertedero donde se vayan a depositar los desechos, deberán responder al mecanismo mencionado en los párrafos anteriores a fin de garantizar la reducción al mínimo de las emisiones de mercurio resultantes de los desechos eliminados.

232. En el recuadro 10 se presenta un ejemplo de eliminación de desechos consistentes en mercurio en Japón.

Recuadro 10 - Ejemplo nacional: Japón

A manera de opción para la eliminación de desechos consistentes en mercurio, Japón ha determinado tratamientos y tipos específicos de vertederos que se pueden combinar para eliminar dichos desechos, a saber: 1) la estabilización de mercurio como sulfuro de mercurio (HgS), seguida de la solidificación (por ejemplo, mediante el uso de azufre modificado según se describe en el párrafo 222) y la eliminación en un vertedero de lixiviado controlado para desechos industriales, donde se hayan tomado medidas adicionales para reducir al mínimo las liberaciones y la metilación de mercurio, por ejemplo la prevención de la entrada de aguas pluviales o subterráneas, la prohibición de mezclar diferentes tipos de desechos en el vertedero y el mantenimiento de registros de las cantidades de desechos y de las áreas de vertido; y 2) la estabilización del mercurio como HgS, seguida de la solidificación y la eliminación en un vertedero de tipo aislado para desechos industriales peligrosos (véase la figura 6). Otras especificaciones sobre estas combinaciones se determinarán sobre la base de experimentos y estudios ulteriores (Ministerio de Medio Ambiente de Japón, 2015).

Figura: Vertedero para desechos industriales peligrosos (de tipo aislado) (Ministerio de Medio Ambiente de Japón, 2007a)



233. Cabe señalar que los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio pueden eliminarse en vertederos especialmente diseñados para desechos domésticos a pesar de los

mejores esfuerzos por mantenerlos separados. Para obtener información sobre los métodos para reducir las liberaciones de mercurio de estos vertederos, véase la sección H.2 a continuación.

234. Los desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio que cumplan los criterios de aceptación para los vertederos controlados definidos en los reglamentos nacionales o locales, podrán ser evacuados en dichos vertederos.

235. Algunas jurisdicciones han definido criterios de aceptación para los vertederos de desechos contaminados con mercurio o compuestos de mercurio. En los recuadros 11 a 14 se presentan ejemplos de tales criterios en la Unión Europea, China, Japón y EE. UU. Además, la eliminación de ciertos desechos de mercurio en vertederos está prohibida en algunos países.

Recuadro 11 - Ejemplo regional: Unión Europea

Según la legislación de la Unión Europea, solamente los desechos con valores límite de lixiviación de 0,2 y 2 mg Hg/kg de sustancia seca en una proporción de líquido sólido de 10 l/kg pueden ser aceptados en vertederos para desechos peligrosos y no peligrosos, respectivamente (Unión Europea, 2003).

Recuadro 12 - Ejemplo nacional: China

Según la legislación de China, solamente los desechos peligrosos con un valor total de lixiviación de mercurio igual o inferior a 0,12 mg/l (Método de prueba de lixiviación de China: HJ/T 299) pueden aceptarse en vertederos para desechos peligrosos (GB 18598) (MEE de China, 2019), y desechos no peligrosos con un valor total de lixiviación de mercurio igual o inferior a 0,05 mg/l (Método de prueba de lixiviación de China: HJ 557) pueden aceptarse en instalaciones de almacenamiento y vertederos de desechos industriales sólidos no peligrosos (GB 18599) (MEE de China, 2020).

Recuadro 13 - Ejemplo nacional: Japón

Según la legislación de Japón, los desechos tratados con una concentración de mercurio igual o inferior a 0,005 mg/l (Método de prueba de lixiviación: Prueba de lixiviación estandarizada japonesa n.º 13 (JLT 13) (Notificación n.º 13 del Ministerio de Medio Ambiente) pueden aceptarse en vertederos para desechos industriales (lixiviado controlado), y aquellos con una concentración de mercurio superior a 0,005 mg/l deben eliminarse en vertederos para desechos industriales peligrosos (tipo aislado) (véase la figura en el recuadro 10) (Ministerio de Medio Ambiente de Japón, 2007b).

Recuadro 14 - Ejemplo nacional: EE. UU.

Según los reglamentos de los Estados Unidos sobre el tratamiento de desechos de mercurio, solamente los desechos de mercurio con baja concentración pueden tratarse y depositarse en vertederos (los desechos con alta concentración tienen que procesarse en retorta para recuperar el mercurio). El mercurio tratado tiene que lixiviar menos de 0,025 mg/l de mercurio (mediante prueba TCLP) (USEPA, sin fecha).

236. Para más información acerca de los vertederos de diseño especial, véase *Directrices técnicas sobre la eliminación ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos en vertederos especialmente diseñados* (D5) (PNUMA, 2022b).

c) Eliminación en almacenamiento permanente (instalaciones subterráneas) (D12)

237. Tras la solidificación o estabilización, en los casos que proceda, los desechos de mercurio que cumplan los criterios de aceptación para el almacenamiento permanente (operación de eliminación D12) podrán almacenarse por tiempo indefinido en contenedores especiales en las zonas designadas de las instalaciones de almacenamiento subterráneo, tales como minas de sal. En el recuadro 14 se presenta un ejemplo de disposiciones nacionales relativas al almacenamiento permanente.

Recuadro 15 - Ejemplo regional: Unión Europea

El *Reglamento (UE) 2017/852 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de mayo de 2017 sobre el mercurio* y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.º 1102/2008 (Unión Europea, 2017) establece que el residuo de mercurio que haya sido sometido a transformación y, en su caso, a

solidificación solo se eliminará permanentemente en las siguientes instalaciones de almacenamiento permanente autorizadas para la eliminación de residuos peligrosos:

- a) minas de sal adaptadas para el almacenamiento permanente de residuo de mercurio que haya sido sometido a transformación, o formaciones rocosas subterráneas autorizadas que proporcionen un nivel de seguridad y confinamiento equivalente o superior al de dichas minas de sal, o
- b) instalaciones de superficie dedicadas al almacenamiento permanente de residuo de mercurio que haya sido sometido a transformación y solidificación, y equipadas a tal efecto, y que proporcionen un nivel de seguridad y confinamiento equivalente o superior al de las instalaciones mencionadas en la letra a).

238. La tecnología para el almacenamiento subterráneo se basa en la ingeniería de minas que emplea tecnologías y metodologías de excavación de minas y construcción de cámaras⁷⁹. Las minas abandonadas se podrían utilizar para el almacenamiento permanente de residuos solidificados y estabilizados tan pronto sean evaluadas y adaptadas para ese fin específico.

239. Además, los principios y la experiencia relativos a la eliminación subterránea de desechos radiactivos se puede aplicar al almacenamiento subterráneo de desechos de mercurio. Si bien la excavación de depósitos subterráneos profundos se puede lograr utilizando tecnologías de minería convencionales o de ingeniería civil, estas operaciones solamente pueden realizarse cuando los lugares son accesibles (por ejemplo, en ubicaciones bajo la superficie o cerca de la costa), en rocas razonablemente estables y cuando no existen corrientes de aguas subterráneas importantes y la profundidad de excavación oscila entre 250 m y 1 000 m. A una profundidad mayor de los 1 000 m, la excavación resulta técnicamente cada vez más difícil y proporcionalmente costosa (Asociación Nuclear Mundial, 2020).

240. Las siguientes publicaciones, entre otras, contienen información detallada sobre el almacenamiento subterráneo permanente de desechos de mercurio:

- a) Unión Europea, 2003: “Evaluación de la seguridad para la admisión de residuos en instalaciones de almacenamiento subterráneo”, anexo A de la *Decisión 2003/33/CE del Consejo, de 19 de diciembre de 2002 por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE*;
- b) BiPRO, 2010: *Requirements for Facilities and Acceptance Criteria for the Disposal of Metallic Mercury*;
- c) Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), 2009: *Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability*;
- d) Asociación Nuclear Mundial, 2020: *Storage and Disposal of Radioactive Waste*.

241. El almacenamiento permanente en instalaciones situadas bajo tierra en minas de sal y formaciones de roca dura aisladas hidrogeológicamente es una opción para separar los desechos peligrosos de la biosfera durante períodos geológicos. Para cada lugar de almacenamiento subterráneo proyectado se deberá llevar a cabo una evaluación de la seguridad concretamente para ese lugar, de conformidad con la legislación pertinente, como las disposiciones relativas a la evaluación de la seguridad para la admisión de desechos en almacenamiento subterráneo que figuran en el apéndice A del anexo de la Decisión 2003/33/CE del Consejo Europeo (Unión Europea, 2003), por la que se establecen los criterios y procedimientos para la admisión de residuos en los vertederos.

242. Los desechos se deberán eliminar de manera que: a) quede excluida toda reacción indeseable entre los diferentes tipos de desechos y entre los desechos depositados y los revestimientos del lugar de almacenamiento; y b) se evite la liberación y el transporte de sustancias peligrosas. En los permisos de funcionamiento se definirán los tipos de desechos que deberán ser excluidos en sentido general. Los desechos se deberán aislar mediante una combinación de barreras técnicas y barreras naturales (roca, sal, arcilla), también conocido como método “multicapas” de eliminación de desechos. Las instalaciones se deberán inspeccionar o vigilar periódicamente para asegurar que la contención permanezca segura y estable. Con frecuencia este concepto se denomina de barreras múltiples, ya que la manera de empaquetar los desechos, el depósito construido según especificaciones y la geología constituyen barreras que impiden que haya fugas de mercurio capaces de afectar a los seres humanos y al medio ambiente (BiPRO, 2010; Unión Europea, 2003; OIEA, 2009; Asociación Nuclear Mundial, 2020).

243. Los factores específicos que pueden afectar el comportamiento del mercurio en las rocas hospedantes y formaciones geológicas utilizadas como almacenamiento permanente, como la

⁷⁹ Alemania, por ejemplo, cuenta con gran experiencia en el almacenamiento subterráneo de desechos peligrosos.

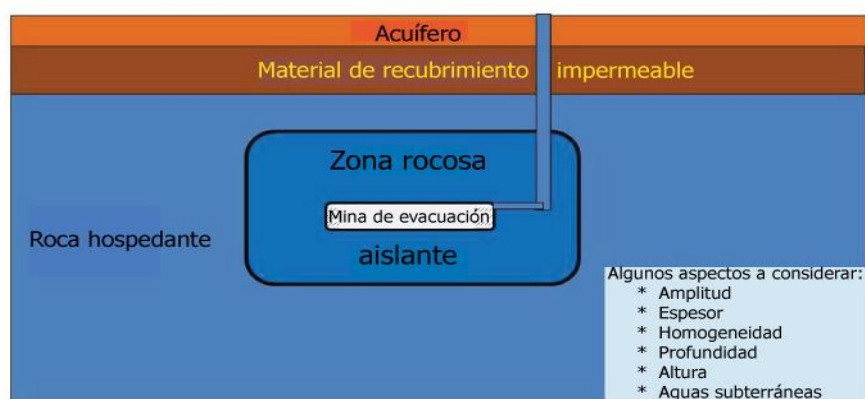
disposición utilizada para las instalaciones de almacenamiento, los tipos de contención utilizados, el lugar y las condiciones de almacenamiento, la vigilancia, las condiciones de acceso al sitio, la estrategia de cierre del depósito, la estanqueidad y el relleno, así como la profundidad de las instalaciones, tienen que considerarse aparte de las propiedades de los desechos que se van a depositar y del sistema de almacenamiento que se va a utilizar. Entre las rocas que pueden servir de almacenamiento permanente de desechos de mercurio se encuentran las formaciones de rocas salinas y rocas duras (rocas ígneas, como las rocas de granito, rocas metamórficas y las rocas gneis sedimentarias como la roca caliza o arenisca) (BiPRO, 2010; Unión Europea, 2003; OIEA, 2009; Asociación Nuclear Mundial, 2020).

244. Al seleccionar un lugar de almacenamiento permanente para la evacuación de desechos de mercurio se deberán tener presentes las consideraciones siguientes:

- a) Las cuevas o túneles utilizados para el almacenamiento deberán estar completamente separadas de las zonas de explotación minera activas y de las que podrían volver a explotarse con ese fin;
- b) Las cuevas o túneles deberán estar situados en formaciones geológicas que se encuentren muy por debajo de donde haya aguas subterráneas o en formaciones que estén completamente aisladas de los acuíferos por rocas impermeables o capas de arcilla;
- c) Las cuevas o túneles deberán estar situados en formaciones geológicas sumamente estables y que no se encuentren en zonas sísmicas.

245. Con miras a garantizar la inclusión completa de los desechos en las instalaciones de almacenamiento permanente, la mina de evacuación y cualquier área circundante que pueda verse afectada desde el punto de vista geomecánico o geoquímico por las operaciones de eliminación, deberá estar circundada por una roca hospedante (denominada “zona de la roca aislante”) de espesor y homogeneidad suficientes, con las propiedades idóneas y a la profundidad adecuada (véase la figura 7). Como principio básico, una evaluación de la seguridad a largo plazo deberá permitir que las Partes demuestren que la construcción y las etapas de operación y posterior a la operación de una instalación de evacuación subterránea no causará degradación alguna al medio ambiente. En consecuencia, se deben utilizar los modelos apropiados para analizar y evaluar todas las barreras técnicas (por ejemplo, las formas de los desechos, el relleno, las medidas de estanqueidad), el comportamiento de la roca hospedante y la roca circundante, las formaciones rocosas de recubrimiento y la secuencia de posibles acontecimientos en el sistema en general.

Figura 4: Concepto de la inclusión completa (diagrama esquemático) (cortesía de: GRS)



246. Si la roca hospedante que se examina muestra alguna deficiencia (por ejemplo, homogeneidad o espesor insuficiente) un sistema de barreras múltiples podrá compensar las propiedades insuficientes o inexistentes de la roca. En general, un sistema de barreras múltiples de este tipo está integrado por uno o varios componentes adicionales de barrera (véanse el cuadro 8 y la figura 5) que pueden ayudar a lograr el objetivo final, a saber aislar de la biosfera los desechos depositados durante un tiempo prolongado.

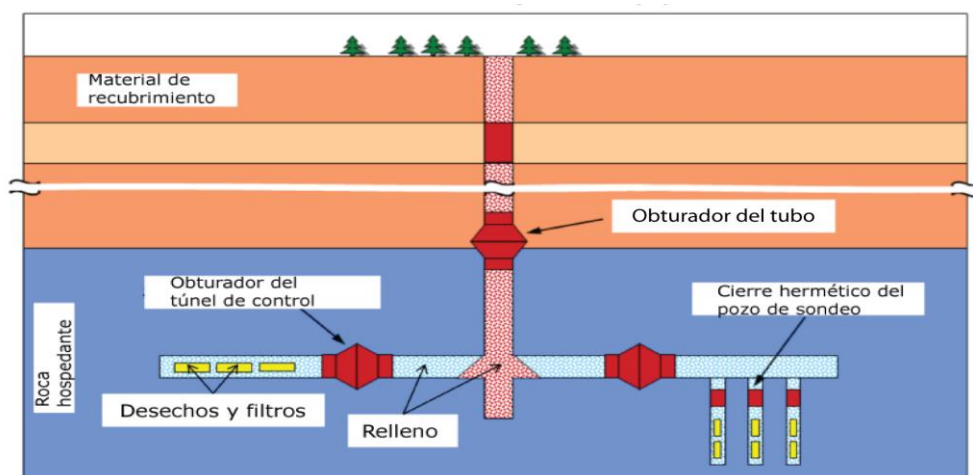
247. Se deberá llevar a cabo una evaluación de la seguridad a largo plazo (véase *supra*) para cerciorarse de la necesidad del sistema de barreras múltiples y del modo de acción de los componentes de la barrera en el sistema de evacuación. A manera de ejemplo, las formaciones geológicas que cubren una mina de evacuación (“material de recubrimiento”) pueden ser eficaces para:

- a) proteger la roca hospedante subyacente de cualquier deterioro de sus propiedades, o
- b) proporcionar capacidades de retención adicionales de contaminantes que pudieran liberarse de la mina de evacuación en determinadas circunstancias.

Cuadro 8: Posibles componentes de un sistema de barreras múltiples y ejemplos de sus maneras de actuar

Componente de la barrera	Ejemplo de la manera de actuar
Contenido de los desechos	Reducción de la cantidad total de contaminantes a evacuar
Especificación de los desechos	Tratamiento de desechos a fin de obtener un contaminante menos soluble
Receptáculo de desechos	Medida transitoria por un período limitado hasta que las barreras naturales cumplan su función
Medidas relativas al relleno	Relleno de espacios vacíos en la mina para mejorar la estabilidad geomecánica o aportarle condiciones geoquímicas especiales
Medidas relativas a la hermetización	El sellado del pozo deberá aportar las mismas propiedades donde la(s) barrera(s) natural(es) se ve(ven) alterada(s) por el acceso a la mina
Roca hospedante	Inclusión completa de los contaminantes (en casos ideales)
Material de recubrimiento	Incorporación de una barrera natural (geológica) adicional, por ejemplo mediante el recubrimiento con una capa de arcilla de espesor suficiente y con las propiedades idóneas

Figura 5: Principales componentes de un sistema de barreras múltiples y su distribución en el sistema (diagrama esquemático) (cortesía de: GRS)



248. En general, un concepto de evacuación subterránea que incluya todos los criterios, requisitos y disposición final explicados anteriormente, deberá diseñarse conforme a criterios específicos de los desechos y el vertedero, tomando en consideración todas las normas pertinentes (por ejemplo, Unión Europea, 2003). Para dar a los lectores una idea aproximada de la profundidad y el espesor de los diferentes tipos de rocas hospedantes adecuadas para la evacuación subterránea, en el cuadro 9 se incluye una lista de las dimensiones típicamente aceptables basadas en la experiencia pasada y en los planos actuales.

Cuadro 9: Valores típicos del espesor vertical de la roca hospedante y profundidad de evacuación posible (Grundfelt y otros, 2005)

Geosistema		Espesor de la roca hospedante	Profundidad de evacuación posible
Roca hospedante	Variante		
Roca salina	Domo salífero	hasta > 1000 m	800 m
Roca salina	Estratos salinos	aprox. 100 m	650 a 1100 m
Arcilla/piedra arcillosa		hasta 400 m	400 a 500 m
Rocas cubiertas de arcilla		aprox. 100 m	500 a 1000 m

H. Reducción de las liberaciones de mercurio mediante el tratamiento térmico y la descarga de los desechos en vertederos

1. Reducción de las liberaciones de mercurio mediante el tratamiento térmico de los desechos

249. Los desechos de mercurio pueden combustionar junto con los desechos sólidos urbanos porque estos últimos pueden contener desechos de mercurio a pesar de todos los esfuerzos por mantenerlos separados. Debido a que su punto de ebullición es bajo, casi todo el mercurio de los desechos puede transferirse al gas de combustión y en menor medida a las cenizas del fondo. Gran parte del mercurio en el gas de combustión alimentado en los incineradores de desechos es mercurio elemental y se transforma en mercurio divalente después de pasar por los incineradores, y parte del mercurio divalente pasa a las cenizas volantes. Se supone que el mercurio divalente sea cloruro mercúrico; en consecuencia, se deberán seleccionar dispositivos para el tratamiento de gases de combustión que puedan extraer con eficacia cloruro mercúrico y mercurio. Además, los desechos que pueden contener mercurio o estar contaminados con este, como son los desechos mal separados de los centros de atención de la salud, no deberán ser incinerados en incineradores que no tengan dispositivos para el tratamiento de los gases de combustión (Arai y otros, 1997). Se deberán establecer normas para las emisiones y los efluentes del mercurio y se deberán vigilar los niveles de mercurio de los gases de combustión tratados y de las aguas residuales para comprobar que las liberaciones de mercurio al medio ambiente se mantienen en el mínimo. Esas prácticas deberán aplicarse a otros procesos de tratamiento térmico de desechos, como los hornos de calcinación sellados al vacío.

250. Entre las técnicas primarias para reducir la inclusión del mercurio en la corriente de desechos figuran las siguientes (Comisión Europea, 2019a):

- a) Eliminar con eficacia los desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio de la corriente de desechos, por ejemplo, mediante la recogida por separado de determinados tipos de pilas, amalgama dental (usando separadores de amalgama) antes de que estos desechos sean mezclados con otros desechos o con aguas residuales;
- b) Notificar a los productores de desechos la necesidad de separar el mercurio;
- c) Detectar o restringir la recogida de posibles desechos de mercurio;
- d) Cuando se sepa que se han recibido desechos de mercurio, controlar la cantidad de esos desechos que se alimentará a los sistemas de reducción de la contaminación para evitar la sobrecarga de sus capacidades.

251. El tratamiento de los gases de combustión es una de las técnicas secundarias para la prevención de las liberaciones de mercurio a la atmósfera a partir de la corriente de desechos. En el recuadro 15 se presenta un ejemplo de valores límite de emisión para las plantas de incineración de desechos.

Recuadro 16 - Ejemplo regional: Unión Europea

La Decisión de Ejecución de la Comisión 2019/2010 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para la incineración de residuos (Comisión Europea, 2019b) establece los niveles de emisión asociados a las MTD para la eliminación de las aguas residuales de la limpieza de gases (de desecho) de combustión y los valores límite de emisión a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos. Con respecto a los primeros, las muestras sin filtrar no pueden contener más de 10 µg/l de mercurio y sus compuestos, expresado en mercurio (Hg); con respecto a los últimos, las emisiones a la atmósfera no pueden exceder los 20 µg/Nm³ de mercurio y sus compuestos, expresado en (Hg) para la vigilancia continua (promedio diario o promedio en el período de muestreo) o 10 µg/Nm³ por un período de muestreo a largo plazo.

252. La selección de un proceso para el control del mercurio en las emisiones de los gases de combustión depende de las concentraciones de cloro y SO₂ (Vosteen, Kanefke y Köser, 2006) del gas de combustión. Cuando la concentración de cloro es alta, el mercurio contenido en el gas de combustión crudo resultante tenderá a adoptar una forma iónica, en dependencia de la concentración de SO₂ (que consume Cl₂), en cuyo caso se puede capturar en el sistema de depuración del gas de combustión. La adición de reactivos para la extracción más eficaz del mercurio puede ser necesaria y constituye un medio de eliminar el mercurio del proceso. Cabe señalar que en la incineración de fangos cloacales las emisiones serán fundamentalmente de mercurio elemental, debido a que el contenido de cloro en estos fangos es menor en comparación con el de los desechos municipales o los desechos peligrosos. En consecuencia, se debe prestar especial atención a la captación de esas emisiones. El mercurio elemental se puede extraer transformándolo en mercurio iónico; esto se puede lograr añadiendo oxidantes al mercurio y luego depositando la mezcla resultante en el depurador o directamente en carbono activado saturado de azufre, en el coque del horno de solera o en zeolitas, dependiendo del sistema de depuración

del gas de combustión (seco, húmedo o semiseco). La extracción de metales pesados, incluido el mercurio, de los sistemas de depuración por vía húmeda se puede lograr mediante floculación, un proceso en el que los hidróxidos metálicos se forman bajo la influencia de agentes floculantes (polielectrolitos) y FeCl_3 . Para la extracción del mercurio se añaden álcalis activantes de perfil complejo y sulfuros (por ejemplo, Na_2S y trimercaptan).

253. La extracción del mercurio en forma oxidada de los gases de combustión se puede lograr mediante adsorción con reactivos en el carbono activado en un sistema de flujo arrastrado, en el que el carbón activado es inyectado en el flujo gaseoso y filtrado del flujo gaseoso por medio de mangas para filtrar. El carbón activado ha demostrado tener una gran capacidad de absorción de mercurio en forma oxidada, así como de dioxinas y furanos (PCDD/PCDF). Los diferentes tipos de carbón activado tienen diferentes coeficientes de adsorción, supuestamente debido a la naturaleza de diferentes partículas de carbono y a la influencia que ejercen en las partículas los procesos de fabricación (Comisión Europea, 2019a). Casi todos los componentes de los gases de combustión relacionados con las emisiones, en particular, el contenido residual de ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, óxidos de azufre y metales pesados (incluido el mercurio en forma oxidada), pueden ser depositados eficazmente en filtros estáticos de coque del horno de solera, un coque fino de 1,25 mm a 5 mm. El efecto de deposición del coque del horno de solera se basa esencialmente en mecanismos de adsorción y filtración. En general, los incineradores deberían estar dotados de dispositivos para el tratamiento de gases de combustión para capturar NO_x , partículas de SO_2 , vapor de mercurio y el mercurio adherido a las partículas como beneficio paralelo. La inyección de polvo de carbón activado es una de las tecnologías avanzadas que se utilizan para extraer el mercurio en los incineradores y en las termoeléctricas alimentadas con carbón. El mercurio adsorbido en el carbón activado se puede estabilizar o solidificar para su eliminación definitiva (véase la subsección III.G.2 a) *supra*).

254. Los siguientes documentos ofrecen información técnica adicional en relación con la reducción de las emisiones de mercurio durante la incineración de los desechos:

- a) PNUMA, 2022c. *Directrices técnicas sobre la incineración ambientalmente racional de desechos peligrosos y otros desechos contemplada en las operaciones de eliminación D10 y R1*
- b) Convenio de Minamata, 2011. *Directrices sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales* (Capítulo VI);
- c) CEPE, 1998. *Protocolo de 1998 sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia en materia de metales pesados*; y Documento de orientación de 2013 sobre las mejores técnicas disponibles para controlar las emisiones de metales pesados y sus compuestos a partir de las categorías de fuentes incluidas en el *anexo II*;
- d) PNUMA, 2010. *Estudio sobre las fuentes y emisiones de mercurio y análisis del costo y la eficacia de las medidas de control: "Estudio del PNUMA pedido en el párrafo 29"* (doc. UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/4);
- e) Comisión Europea, 2019a. *Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en el sector de incineración de residuos*;
- f) Comisión Europea, 2019b. *Decisión de Ejecución (UE) 2019/2010 de la Comisión de 12 de noviembre de 2019 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD), de conformidad con la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, para la incineración de residuos*;

255. Los siguientes documentos ofrecen información técnica adicional en relación con la reducción de las emisiones de mercurio durante la co-incineración de los desechos:

- a) Comisión Europea, 2017a. *Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para las grandes instalaciones de combustión*;
- b) Comisión Europea, 2017b. *Decisión de Ejecución (UE) 2017/1442 de la Comisión de 31 de julio de 2017 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo para las grandes instalaciones de combustión*;
- c) Comisión Europea, 2013b. *Decisión de Ejecución (UE) 2019/2010 de la Comisión de 26 de marzo de 2013 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para la fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre las emisiones industriales*.

256. Cuando se utilice un depurador por vía húmeda como método de tratamiento de los gases de combustión, será indispensable tratar las aguas residuales que salen del depurador húmedo.

2. Reducción de las liberaciones de mercurio de los vertederos especialmente diseñados para desechos domésticos

257. Los desechos de mercurio pueden depositarse en vertederos especialmente diseñados para desechos domésticos, a pesar de todos los esfuerzos por mantenerlos separados. En estos casos hay tres tipos de vías por las que se puede liberar al medio ambiente el mercurio; el frente de trabajo de los vertederos, el lixiviado de vertedero y el gas de vertedero. Los sitios más importantes de emisión de mercurio son los frentes de trabajo y los respiraderos por donde sale el metano (Lindberg y Price, 1999).

258. Cada día se deberá aplicar una capa de tierra para reducir la liberación directa de mercurio de los desechos que se han añadido recientemente a los vertederos (Lindberg y Price, 1999). Los incendios en los vertederos también pueden aumentar las liberaciones de mercurio. Se deberá tener a disposición los materiales y las maquinarias necesarios en caso de incendios en el vertedero para poder aplicar con rapidez la capa de relleno para extinguirlos (por ejemplo, camión de volteo, explanadora de empuje).

259. Según informes, las liberaciones de mercurio por lixiviado son bastante mínimas en comparación con las que se producen mediante los gases de vertederos, en dependencia de las prácticas de gestión del vertedero (Yanase, Hirato y Matsufuji, 2009; Takahashi y otros, 2004; Lindberg y otros, 2001). El mercurio transferido al lixiviado puede eliminarse mediante la recogida y el tratamiento del lixiviado, como es el caso de las aguas residuales procedentes de los depuradores por vía húmeda de los incineradores de desechos.

260. Se deberá instalar in situ un sistema de captación de gases de vertedero que extraiga los vapores de mercurio y, de ser viable, el metilmercurio para así prevenir su liberación a la atmósfera, si procede.

I. Gestión de lugares contaminados

261. En todo el mundo existen lugares contaminados con mercurio. Existen diversas fuentes posibles de esta contaminación, entre las cuales se encuentran el almacenamiento de mercurio, la fabricación de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio, el uso de mercurio en procesos de fabricación, las actividades de extracción de oro artesanal y en pequeña escala que utilizan mercurio o mineral primario rico en mercurio, donde el mercurio se moviliza, la extracción primaria de mercurio y las minas históricas abandonadas que no se administran de acuerdo con las prácticas modernas, fuentes puntuales de emisiones y liberaciones y el tratamiento y la eliminación de desechos (PNUMA, 2019d).

262. Para obtener orientación sobre la gestión de sitios contaminados, véanse las Orientaciones sobre la gestión de sitios contaminados, aprobadas por la Conferencia de las Partes en el Convenio de Minamata mediante la decisión MC-3/6 (PNUMA, 2019d). Este documento proporciona orientación sobre la gestión de sitios contaminados con mercurio o compuestos de mercurio, desde la identificación de sitios contaminados y la investigación exhaustiva del sitio hasta el proceso de adopción de decisiones relativas a la gestión del sitio y, donde proceda, al saneamiento.

263. Al dismantelar instalaciones de celdas de mercurio se deberá elaborar un plan para el saneamiento de los sitios de cloro-álcali contaminados (Comisión Europea, 2014b).

J. Salud y seguridad

264. Los empleadores deberán velar por la protección de la salud y la seguridad de todo empleado durante su trabajo. Cada empleador deberá contratar y mantener un seguro, conforme a una póliza aprobada por un asegurador autorizado, que garantice un nivel de cobertura suficiente en caso de responsabilidad (indemnización) por enfermedad o lesiones físicas de los empleados causadas por y durante su actividad laboral, de conformidad con la legislación nacional. En todas las instalaciones donde se manipulen desechos de mercurio deberán elaborarse planes de salud y seguridad para garantizar la protección de toda persona que se encuentre en las instalaciones y sus alrededores. Dichos planes deberán ser preparados para cada instalación por profesionales de la salud y la seguridad capacitados y con experiencia en la gestión de riesgos para la salud relacionados con el mercurio.

265. Se deberá realizar una evaluación de la exposición, si corresponde, para todos los empleados que están directamente expuestos al mercurio o compuestos de mercurio y se adoptarán prácticas adecuadas de vigilancia e higiene industrial. Para este tipo de programa integral de evaluación y vigilancia de la exposición se necesitan credenciales colorimétricas y/o equipos de monitoreo personal (dispositivos de toma de muestras de vapor). Se deben realizar exámenes físicos previos a la contratación a fin de establecer un punto de referencia para determinar el nivel de mercurio precedente de la persona y garantizar que el empleado tenga una química corporal normal para eliminar el mercurio. El personal puede tener otras consideraciones que deben tratarse según el caso. Los programas de control médico también deben incluir exámenes físicos periódicos (por ejemplo, de uno a tres años), análisis de sangre y

de orina regulares. Se debe considerar la posibilidad de ofrecer trabajos alternativos a las trabajadoras que queden embarazadas o que estén amamantando.

266. La protección de los trabajadores encargados del manejo de desechos de mercurio y el público en general se puede lograr de las maneras siguientes:

- a) Permitir el acceso a las instalaciones solamente a personal autorizado;
- b) Garantizar que los límites de exposición ocupacional a las sustancias peligrosas no se sobrepasen, cerciorándose de que todo el personal use el equipo de protección apropiado;
- c) Garantizar la ventilación adecuada de las instalaciones para minimizar el riesgo de la exposición a sustancias volátiles o sustancias en suspensión en el aire;
- d) Garantizar que las instalaciones cumplan todas las leyes nacionales y regionales relativas a la salud y la seguridad de los lugares de trabajo.

267. La OMS ha establecido los valores indicativos de las concentraciones de mercurio en el agua potable y el aire ambiente, los cuales son de 0,006 mg/l en el caso del mercurio inorgánico y de 1 µg/m³ en el caso del vapor de mercurio inorgánico (OMS, 2017; Oficina Regional de la OMS para Europa, 2000). Se exhorta a los gobiernos a vigilar el aire y el agua a fin de proteger la salud humana, sobre todo cerca de los lugares donde se llevan a cabo actividades de manejo de desechos de mercurio. Algunos países han establecido niveles permisibles de mercurio en el entorno de trabajo (por ejemplo, 0,025mg/m³ de Hg para el mercurio inorgánico, con exclusión del sulfuro mercúrico, y 0,01mg/m³ de Hg para los compuestos de alquilmercurio en el Japón); las operaciones de manejo de los desechos deberán llevarse a cabo de manera que cumplan los requisitos en cuanto a los niveles permisibles de mercurio en el entorno de trabajo, y las instalaciones donde se realizan tales operaciones deben diseñarse y funcionar de manera que se reduzcan al mínimo las liberaciones de mercurio a la atmósfera en todo lo que sea técnicamente posible.

268. Se deberá prestar atención especial a los lugares en donde se manipulen productos que contengan mercurio o compuestos de mercurio. En la corriente de desechos, las emisiones de mercurio dimanantes de los productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio pueden conducir a exposiciones que aumenten los riesgos para la salud y contribuyan a las emisiones al medio ambiente en muchos lugares. Los recolectores de desechos, los chóferes de camiones y los trabajadores de los puntos de traslado pueden verse expuestos al mercurio durante breves períodos de máxima emisión de vapores de mercurio cuando manipulan desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio. Los trabajadores que se encargan del manejo de desechos en la “zona activa” del vertedero, el espacio activo donde se vierten, esparcen, compactan y entierran los desechos, pueden verse expuestos en reiteradas ocasiones a los vapores de mercurio. Las personas del sector no estructurado que se dedican a hurgar en los vertederos para recuperar artículos reutilizable corren el riesgo de exposición crónica. Los puntos de ventilación del gas metano generado por la descomposición de los residuos orgánicos son fuentes adicionales de liberación de mercurio y de exposición a este.

269. Las instalaciones de eliminación, sobre todo donde se realizan procesos de recuperación de mercurio, presentan también un alto riesgo de exposición al mercurio para los empleados y para las personas que viven y trabajan cerca de dichas instalaciones. Las principales actividades de alto riesgo de exposición son la trituración de lámparas fluorescentes, la extracción de mercurio de los productos que contienen mercurio como termómetros y barómetros, el tratamiento térmico de desechos que contienen mercurio o están contaminados con este y la E/S de los desechos consistentes en mercurio o compuestos de mercurio.

270. Se deberá impartir capacitación al personal en el manejo ambientalmente racional efectivo, entre otras cosas, para asegurar la protección de los trabajadores de la exposición al mercurio y los accidentes durante el manejo de los desechos.

271. Los trabajadores deberán tener los conocimientos básicos siguiente:

- a) La definición de desechos de mercurio y las propiedades químicas y los efectos adversos del mercurio;
- b) Cómo detectar y separar los desechos de mercurio de los demás tipos de desechos;
- c) Normas de seguridad del trabajador relativas al mercurio y a cómo proteger su salud contra la exposición al mercurio;
- d) Cómo utilizar el equipo de protección personal, a saber, protectores para el cuerpo, la cara y los ojos, guantes y protectores respiratorios;

- e) Requisitos pertinentes para el etiquetado y almacenamiento, requisitos sobre la compatibilidad de los contenedores y la indicación de las fechas y requisitos de hermeticidad de los contenedores;
- f) Cómo manipular de forma segura los desechos de mercurio, en particular los productos usados que contienen mercurio como termómetros y barómetros, usando el equipo disponible en la instalación donde trabajan;
- g) Cómo utilizar los controles técnicos para reducir al mínimo la exposición;
- h) Cómo reaccionar en caso de emergencia si se produce un derrame accidental del mercurio en los desechos.

272. Es importante tener un seguro del trabajador y un seguro de responsabilidad del empleador a fin de estar mejor preparados para accidentes o lesiones laborales en la instalación, según proceda acorde con la legislación nacional.

273. Todos los materiales de capacitación deberán traducirse a los idiomas vernáculos y ponerse a disposición de todos los empleados. Para preparar materiales de capacitación, las Fichas Internacionales de Seguridad Química (FISQ)⁸⁰ elaboradas por la OIT y la OMS brindan información sobre los peligros del mercurio y los principales compuestos de mercurio y las respuestas necesarias en varios idiomas.

K. Respuesta en casos de emergencia

1. Plan de respuesta en casos de emergencia

274. Se deberán elaborar planes de respuesta en casos de emergencia para cada etapa de la cadena de procesamiento de los desechos de mercurio (por ejemplo, la generación, el almacenamiento, el transporte o la recuperación, y la eliminación). Si bien los planes de respuesta en casos de emergencia pueden variar en dependencia de las actividades realizadas en cada etapa del manejo de los desechos y de las condiciones físicas y sociales de cada lugar de manejo, los principales elementos de un plan de respuesta en casos de emergencia son la determinación de los posibles riesgos, el cumplimiento de la legislación que rige los planes de respuesta en casos de emergencia, la especificación de las medidas que se habrán de adoptar en situaciones de emergencia, incluidas las de mitigación, los planes de capacitación del personal, los objetivos de la comunicación (por ejemplo, servicios de bomberos, policía, comunidades vecinas, gobiernos locales, etc.) y los métodos que se aplicarán en casos de emergencia, así como la especificación de los métodos y la frecuencia de las pruebas del equipo de respuesta en casos de emergencia.

275. Cuando se produce una emergencia, lo primero que hay que hacer es examinar el lugar. La persona encargada deberá acercarse con cautela en dirección contraria al viento, garantizar la seguridad del lugar y determinar los peligros. Los carteles, las etiquetas de los contenedores, los conocimientos de embarque, las notas descriptivas sobre seguridad de los materiales, los gráficos de identificación del vehículo o las personas que conocen el lugar son valiosas fuentes de información. Se deberá determinar entonces si es necesario evacuar el lugar, la disponibilidad de recursos humanos y equipo y las posibles medidas inmediatas. Para velar por la seguridad pública, se deberá llamar a un organismo encargado de la respuesta en casos de emergencia y, como medida de precaución inmediata, se deberán delimitar las zonas de derrame y fuga de por lo menos 50 metros a la redonda. En caso de incendio, se deberá utilizar un agente extintor adecuado al tipo de fuego y evitar el uso de agua. Para más información puede consultar la guía *Emergency Response Guidebook* (Departamento de Transporte de los Estados Unidos y otros, 2020).

2. Consideración especial de los derrames de mercurio o compuestos de mercurio

276. Un derrame accidental de mercurio o compuestos de mercurio se produce principalmente cuando se rompen desechos de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio. La mayoría de los casos de derrame parece ocurrir con los termómetros de vidrio, los cuales se rompen fácilmente. Aunque la cantidad de mercurio en cada termómetro es de aproximadamente 0,5 a 3 g y no entraña, por regla general, graves problemas para la salud, todos los derrames de mercurio deberán considerarse peligrosos y limpiarse con precaución. Las áreas interiores deben ventilarse adecuadamente. Si una persona experimenta malestar después de que se produce un derrame de mercurio, se deberá establecer contacto inmediato con un médico o con las autoridades de salud ambiental.

⁸⁰ Las FISQ proporcionan información tal como síntomas y primeros auxilios en caso de contacto humano con mercurio, vías de exposición y efectos sobre la salud, límites de exposición ocupacional, clasificación de peligros y etiquetado.

Disponible en: https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listcards3?p_lang=en.

277. Si se trata de un derrame pequeño y sencillo (por ejemplo, en una superficie no porosa, como pisos de linóleo o de madera dura, o en un objeto poroso que se pueda echar a la basura como una alfombra o estera pequeña), una persona lo puede limpiar. Si se trata de un derrame mayor o complejo (por ejemplo si ocurre en una alfombra que no se puede echar a la basura o sobre un mueble tapizado, en grietas o hendiduras), tal vez sea necesario contratar a un profesional capacitado para contener o limpiar el derrame. Los derrames grandes en que la cantidad de mercurio sea mayor que el que se encuentra en un producto doméstico típico, se deberán notificar a las autoridades locales de salud ambiental. Si hay dudas en cuanto a si el derrame se debe clasificar como “grande”, se deberá establecer contacto con las autoridades locales de salud ambiental como medida de precaución. En determinadas circunstancias, tal vez sea aconsejable pedir ayuda a técnicos calificados para que se ocupen de la limpieza profesional o la vigilancia de la atmósfera, independientemente de las proporciones del derrame (Environment Canada, 2016).

278. Los derrames de mercurio durante las actividades comerciales y en los hogares pueden exponer a los trabajadores y al público en general a vapores de mercurio peligrosos. Además, limpiar los derrames resulta costoso y altera otras actividades. En el sitio web de la USEPA se pueden consultar procedimientos de limpieza de pequeños derrames de mercurio (USEPA, 2007c).

279. Decisivo para determinar el tipo de respuesta apropiada en caso de derrame de mercurio es evaluar las proporciones del derrame y la extensión de la dispersión del mercurio y si se dispone de los recursos y los conocimientos especializados necesarios para la limpieza. Se deberá acudir a un profesional en los siguientes casos:

- a) La cantidad de mercurio podría ser mayor de 2 cucharadas (30 mililitros): los derrames más grandes deberán notificarse a las autoridades para que se ocupen de la vigilancia y el seguimiento;
- b) No se puede determinar la superficie donde ocurrió el derrame: si no hubo testigos del derrame o si es difícil determinar hasta dónde llegó, podría haber pequeñas cantidades de mercurio que no se hayan detectado y que haya que limpiar;
- c) El área donde se produjo el derrame tiene superficies porosas o semiporosas: superficies como moquetas y losetas acústicas pueden absorber el mercurio derramado e imposibilitar prácticamente la limpieza;
- d) El derrame tiene lugar cerca de un desagüe, un ventilador, un sistema de ventilación u otro conducto: el mercurio y los vapores de mercurio pueden salir con rapidez del lugar donde se produjo el derrame y contaminar otras superficies, lo que posiblemente no sea fácil de detectar.

280. La dispersión del mercurio derramado (por ejemplo, debido al uso de chorros de agua) se deberá evitar en todo lo posible, porque aumenta significativamente la tasa de evaporación del mercurio (Euro Chlor, 2004).

L. Concienciación y participación

281. Antes de que una instalación en la que se eliminan desechos de mercurio comience a funcionar, se deben haber establecido procedimientos de comunicación con las autoridades locales respecto a las liberaciones de mercurio. Los operadores de las instalaciones deben organizar foros de concienciación de la comunidad para abordar preguntas sobre la ubicación de las instalaciones, las operaciones y los planes de respuesta en caso de emergencias, así como otras inquietudes que la población pueda plantear,

282. La concienciación y participación del público desempeñan una función fundamental en el manejo ambientalmente racional de desechos de mercurio. La participación del público es un principio básico de la Declaración de Basilea de 1999 sobre el manejo ambientalmente racional y de muchos otros acuerdos internacionales. Es esencial que el público y todos los interesados directos tengan la posibilidad de participar en la formulación de leyes y programas y en otros procesos de adopción de decisiones relacionadas con el mercurio.

283. En los artículos 6, 7, 8 y 9 del Convenio sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en asuntos ambientales de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), de 1998 (Convenio de Aarhus), se exige la adopción de medidas específicas relativas a la participación del público en actividades públicas específicas, la formulación de planes, políticas y programas y la elaboración de la legislación, y además se pide el acceso del público a la justicia en lo relativo al medio ambiente.

284. Al emprender actividades como la recogida y el reciclado de los desechos de mercurio, es recomendable obtener la participación y la cooperación de los consumidores que generan desechos que contienen mercurio. La sensibilización permanente es fundamental para la recogida y el reciclado con éxito de los desechos de mercurio. Alentar la participación del público en el diseño de un sistema de

recogida y reciclado de los desechos de mercurio, proporcionando a los participantes la información que necesitan acerca de los posibles problemas causados por el manejo de esos desechos sin tomar en consideración el medio ambiente, ayudaría a aumentar el conocimiento de los consumidores sobre los riesgos del mercurio y de los desechos de mercurio.

285. Las campañas de concienciación y sensibilización del público, dirigidas a las comunidades locales y a los ciudadanos, son elementos importantes en la promoción de la participación del público en el manejo ambientalmente racional de los desechos de mercurio. Para aumentar el conocimiento de los ciudadanos, las autoridades pertinentes, es decir los gobiernos locales, tienen que emprender campañas de concienciación y sensibilización para motivar a los ciudadanos a interesarse por su propia protección y la de los demás contra los efectos adversos del mercurio para la salud humana y el medio ambiente. Es importante integrar a las organizaciones de la comunidad en esas campañas debido a su relación estrecha con los residentes y otros interesados directos en sus comunidades (Honda, 2005).

286. Los programas de sensibilización y participación del público deberán centrarse, por regla general, en alguna situación de manejo de desechos conocida a nivel nacional, local o comunitario. En el cuadro 10 figuran ejemplos de programas de concienciación y participación del público. Tales programas constan de cuatro elementos: publicaciones, programas de educación sobre el medio ambiente, actividades de relaciones públicas y comunicación sobre los riesgos, a las cuales los ciudadanos deben tener fácil acceso en lugares públicos (Honda, 2005).

Cuadro 10: Programas de concienciación y participación del público

	Contenido	Resultados previstos
Publicaciones	- Folletos, panfletos, volantes, revistas, carteles, páginas web, etc., en varios idiomas y dialectos para explicar con términos sencillos las cuestiones relacionadas con el mercurio - Guías sobre cómo eliminar los desechos de mercurio	- Fuentes de conocimiento - Explicación de cómo la población puede manipular productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio y eliminar los desechos de mercurio
Programas de educación ambiental	- Seminarios voluntarios - Reuniones de la comunidad - Vínculos con otros talleres de salud - Demostraciones de programas de devolución - Estudios científicos - Viajes a las instalaciones, etc. - Aprendizaje electrónico	- Aumentar los conocimientos - Compartir problemas comunes - Oportunidades de análisis directo de cuestiones ambientales
Actividades	- Programas de devolución - Campañas sobre productos sin mercurio - Campañas de reducción al mínimo de desechos - Reuniones de la comunidad - Visitas casa por casa	- Realización de actividades ambientales entre todos los asociados - Llamamiento a los ciudadanos en favor del medio ambiente - Comunicaciones individuales directas
Comunicación del riesgo	- La exposición al mercurio en entornos de vida generales - Nivel de seguridad de la exposición al mercurio - Niveles de contaminación por mercurio - Registro sobre emisiones y transferencia de contaminantes - Alertas sobre el consumo de pescado - Alertas sobre el consumo de arroz - Respuesta a los derrames de mercurio dimanante de productos que contienen mercurio o compuestos de mercurio	- Conocimiento adecuado de los niveles de seguridad y riesgo que entraña la exposición al mercurio, en las circunstancias del caso - Evitar que cunda el pánico

287. Como parte de los programas de educación ambiental, las publicaciones deberán proporcionar conocimientos básicos acerca de las propiedades del mercurio, su toxicología, sus efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente y las cuestiones relacionadas con los desechos de mercurio,

incluyendo cómo tratar y evitar la posible exposición al mercurio dimanante de tales desechos. Las publicaciones deberán traducirse a los idiomas y dialectos locales para garantizar que la información se comunique con eficacia al público al que va destinada.

288. Un programa de educación ambiental sobre desechos de mercurio deberá constar de los elementos siguientes (Honda, 2005):

- a) Concienciación y sensibilización acerca del medio ambiente y los problemas ambientales;
- b) Creación del conocimiento y comprensión sobre el medio ambiente y los problemas ambientales;
- c) Desarrollo de actitudes de interés por el medio ambiente y de la motivación para mejorar o mantener la calidad del medio ambiente;
- d) Desarrollo de conocimientos suficientes para detectar problemas ambientales y ayudar a resolverlos;
- e) Participación en actividades que propicien la solución de problemas ambientales.

289. Los asociados en los programas de participación del público pueden resumirse de la manera siguiente (Honda, 2005):

- a) Funcionarios gubernamentales y empleados públicos que trabajan en cuestiones ambientales;
- b) Personas interesadas en problemas del medio ambiente y que tienen la capacidad de comprender rápidamente y difundir la información a los demás:
 - i) Escolares y alumnos;
 - ii) Maestros y profesores;
- c) Líderes y representantes de las comunidades y grupos locales y otras personas que trabajan en la esfera del medio ambiente a nivel local o comunitario:
 - i) Trabajadores de organizaciones no gubernamentales;
 - ii) Trabajadores de pequeñas y medianas empresas;
 - iii) Productores, acopiadores y recicladores locales, dueños de instalaciones de eliminación y trabajadores que manipulan los desechos de mercurio;
- d) Personas que están o residen en la proximidad de lugares para el manejo de desechos o contaminados con mercurio;
- e) Organizaciones locales;
- f) Residentes urbanos;
- g) Empresas.

290. Para velar por que las liberaciones de mercurio durante la recogida, el transporte y la eliminación de desechos se mantengan al mínimo, es importante sensibilizar a las partes interesadas (es decir, transportadores, operadores de plantas de reciclado y tratamiento) en relación con los riesgos del mercurio. Esto se puede lograr mediante actividades de sensibilización, tales como seminarios, que pueden aportar información acerca de los nuevos sistemas y reglamentos y de las oportunidades de intercambio de información, preparación y distribución de volantes y difusión de información por Internet.

Annex to the technical guidelines

Bibliography

- Amin-Zaki, L. et al., 1978. "Methylmercury Poisoning in Iraqi Children: Clinical Observations over Two Years", *British Medical Journal*, vol. 11, pp. 613-616. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1603391/>.
- Amuda, O.S. et al., 2010. "Wastewater Treatment Process", in Wang, L.K., Hung, Y.T. and Shammass, N.K., eds., *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment, Volume 2*. CRC Press, New York, USA, p. 926.
- Arai, Norio et al., (ed.) 1997. *Products of Incineration and Their Control Technology* [in Japanese].
- Artisanal Gold Council, 2014. *Using Retorts to Reduce Mercury Use, Emissions, and Exposures in Artisanal and Small-Scale Gold Mining: A Practical Guide*. Available at: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31365/Guide.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Asano, S. et al., 2000. "Acute Inorganic Mercury Vapour Inhalation Poisoning", *Pathology International*, vol. 50, pp. 169-174.
- ASTM International, 2016. *ASTM D6784 - 16 Standard Test Method for Elemental, Oxidized, Particle-Bound and Total Mercury in Flue Gas Generated from Coal-Fired Stationary Sources* (Ontario Hydro Method). Available at: <https://www.astm.org/Standards/D6784.htm>.
- Bakir, F. et al., 1973. "Methylmercury Poisoning in Iraq", *Science*, vol. 181, pp. 230-241.
- Bansal, R.C. and Goyal, M., 2005. *Activated Carbon Adsorption of Mercury*. In: *Activated Carbon Adsorption*, CRC Press, New York, pp. 326-334.
- BiPRO, 2010. *Requirements for Facilities and Acceptance Criteria for the Disposal of Metallic Mercury*. Available at: http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/bipro_study20100416.pdf.
- Bull, S., 2006. Inorganic Mercury/Elemental Mercury. Butler, M., 1997. "Lessons from Thor Chemicals: the Links between Health, Safety and Environmental Protection", in *The Bottom Line: Industry and the Environment in South Africa*, L. Bethlehem, Goldblatt, M. Cape Town, South Africa, University of Cape Town Press, pp. 194-213.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety, undated. *OHS Fact Sheets: Mercury*. Available at: http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/mercury.html.
- CEN, 2001. *EN 13211: Air quality - Stationary source emissions - Manual method of determination of the concentration of total mercury*. Available at: <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+13211>.
- CEN, 2002a. *EN 12457-1 to 4: Characterization of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges*. Available at: <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+12457-1>, <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+12457-2>, <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+12457-3>, <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+12457-4>.
- CEN, 2002b. *EN 13657: Characterization of waste - Digestion for subsequent determination of aqua regia soluble portion of elements in waste*. Available at: <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+13657>.
- CEN, 2005. *EN 14884: Air quality - Stationary source emissions - Determination of total mercury: Automated measuring systems*. Available at: <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+14884>.
- CEN, 2006. *EN 12920: Characterization of waste - Methodology for the determination of the leaching behaviour of waste under specified conditions*. Available at: <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+12920>.

CEN, 2007. *EN 15309: Characterization of waste and soil - Determination of elemental composition by X-ray fluorescence*. Available at: <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+15309>**Error! Hyperlink reference not valid..**

CEN, 2017. *EN 14405: Characterization of waste - Leaching behaviour test - Up-flow percolation test*. Available at: <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+14405>**Error! Hyperlink reference not valid..**

CEN, 2020. *EN 13656: Soil, treated biowaste, sludge and waste - Digestion with a hydrochloric (HCl), nitric (HNO₃) and tetrafluoroboric (HBF₄) or hydrofluoric (HF) acid mixture for subsequent determination of elements*. Available at: <https://www.en-standard.eu/search/?q=EN+13656>.

Chang, T. C. and J. H., Yen, 2006. "On-site mercury-contaminated soils remediation by using thermal desorption technology", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 128(2-3), 208-217.

Chiarle, S. and Ratto, M., 2000. "Mercury Removal from Water by Ion Exchange Resins Adsorption", *Water Research*, vol. 34, pp. 2971-2978.

Chojnacki, A. et al., 2004. "The application of natural zeolites for mercury removal: from laboratory tests to industrial scale", *Minerals Engineering*, vol. 17, pp. 933-937.

Committee on consideration of environmentally sound management of mercury waste, working group on mercury recovery and disposal, 2014. *Report on consideration of environmentally sound management of mercury wastes* [in Japanese], p. 67, Reference document No. 3-1. Available at: <http://www.env.go.jp/council/03recycle/y039-01b/ref3.pdf>.

Damluji, S. F. and Tikriti, S., 1972. "Mercury Poisoning from Wheat", *British Medical Journal*, vol. 25, p. 804.

Environment Canada, 2016. Cleaning Up Small Mercury Spills.

Environmental Management Bureau, Republic of the Philippines, 1997. *DENR Administrative Order No. 38, Chemical Control Order for Mercury and Mercury Compounds*. Available at: <http://www.environment.gov.au/epbc/notices/assessments/2010/5477/dao-97-38.pdf>.

Euro Chlor, 2004. *Code of Practice, Mercury Housekeeping, Environmental Protection 11, 5th edition*. Available at: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/13795/ENV_Prot_11_Edition_5.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

European Commission, 2008. *Options for reducing mercury use in products and applications and the fate of mercury already circulating in society*. Available at: http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/EU_Mercury_Study2008.pdf.

European Commission, 2013a. *Commission implementing decision of 9 December 2013 establishing the best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions, for the production of chlor-alkali (2013/732/EU)*. Available at: https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2013/732/oj. Translations to Arabic, Chinese and Russian are available at <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/translation/index.html>.

European Commission, 2013b. *Commission Implementing Decision of 26 March 2013 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions for the production of cement, lime and magnesium oxide*. Available at: http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2013/163/oj.

European Commission, 2014a. *Report on the availability of mercury-free button cells for hearing aids, in accordance with Article 4.4 of Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC*. Available at: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/EN/1-2014-632-EN-F1-1.Pdf>.

European Commission, 2014b. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Chlor-alkali*. Available at: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/CAK_BREF_102014.pdf.

European Commission, 2017a. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)*. Available at: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC_107769_LCPBref_2017.pdf.

European Commission, 2017b. *Commission Implementing Decision (EU) 2017/1442 of 31 July 2017 establishing the best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council, for large combustion plants*. Available at: http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2017/1442/oj.

European Commission, 2018a. *Commission Implementing Decision (EU) 2018/1147 of 10 August 2018 establishing best available techniques (BAT) conclusions for waste treatment, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council*. Available at: http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2018/1147/oj.

European Commission, 2018b. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document Waste Treatment*. Available at: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC113018_WT_Bref.pdf.

European Commission, 2019a. *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*. Available at: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/waste-incineration>.

European Commission, 2019b. *Commission Implementing Decision (EU) 2019/2010 of 12 November 2019 establishing the best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council, for waste incineration*. Available at: http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2019/2010/oj

European Union, 2003. "Safety Assessment for Acceptance of Waste in Underground Storage", *Appendix A to Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC*. Available at: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:011:0027:0049:EN:PDF>.

European Union, 2006. *Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC*. Available at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/66/2018-07-04>.

European Union, 2011a. *Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment*. Official Journal of the European Union, L 174, 1.7.2011, p. 88. Available at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2011/65/2020-05-01>

European Union, 2011b. *Council Directive 2011/97/EU of 5 December 2011 amending Directive 1999/31/EC as regards specific criteria for the storage of metallic mercury considered as waste*. Official Journal of the European Union, L 328, 10/12/2011, p. 49. Available at: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:328:0049:0052:EN:PDF>.

European Union, 2012. *Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*. Official Journal of the European Union, L 197, 24.7.2012, p. 38. Available at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2012/19/2018-07-04>.

European Union, 2017. *Regulation (EU) 2017/852 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2017 on mercury, and repealing Regulation (EC) No 1102/2008*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R0852>

FAO, 1985. *Guidelines for the Packaging and Storage of Pesticides*.

Gay, D.D., Cox, R.D. and Reinhardt, J.W., 1979. "Chewing Releases Mercury from Fillings", *Lancet*, vol. 1, pp. 985-986.

German Federal Environment Agency, 2014. *Behaviour of mercury and mercury compounds at the underground disposal in salt formations and their potential mobilisation by saline solutions*. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_07_2014_behaviour

r_of_mercury_and_mercury_compounds_at_the_underground_disposal_in_salt_formations-summary.pdf.

Glenz, T. G., Brosseau, L.M. and Hoffbeck, R.W., 2009. "Preventing Mercury Vapor Release from Broken Fluorescent Lamps during Shipping", *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 59, pp. 266-272.

Government of Canada, 2014. *Products Containing Mercury Regulations*. Available at: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-2014-254/index.html>.

Government of Norway, 2011. *Product Regulations* [in Norwegian]. Available at: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-922/KAPITTEL_2#KAPITTEL_2.

GroundWork, 2005. *Advising and Monitoring the Clean-up and Disposal of Mercury Waste in Kwazulu-Natal, South Africa*.

Grundfelt, B. et al., 2005. "Importance of the multi-barrier concept for the final disposal of radioactive waste" [in German], Kemakta Konsult AB, Bericht, Stockholm.

Hagemann, S., 2009. "Technologies for the stabilization of elemental mercury and mercury-containing wastes", Gesellschaft für Anlagen-und Reaktorsicherheit (GRS). *GRS Report 252*.

Honda S., 2005. "Study on the Environmentally Sound Management of Hazardous Wastes and Other Wastes in the Asia", postdoctoral dissertation, Tsinghua University, Beijing, China.

Honda, S. et al., 2006. "Current Mercury Level in Cambodia - with Issue on Waste Management", *NIMD Forum 2006 II: Current Issues on Mercury Pollution in the Asia-Pacific Region*, Minamata City, Japan, pp. 91-102. Available at: http://nimd.env.go.jp/english/kenkyu/nimd_forum/nimd_forum_2006_II.pdf.

Hylander, L.D. and Meili, M., 2005. "The Rise and Fall of Mercury: Converting a Resource to Refuse after 500 Years of Mining and Pollution", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 35, pp. 1-36.

IAEA, 2009. *Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability*. Available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378_web.pdf.

IATA, 2020. *Dangerous Goods Regulations Manual* (61st edition). Available at: <https://www.labeline.com/product/iata-dgr-61st/>.

ICAO, 2017. *Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air* (2017-2018 edition). Available at: <https://www.icao.int/safety/dangerousgoods/pages/technical-instructions.aspx>.

ILO, 2014. *Mercuric Oxide*. Available at: http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0981&p_version=2&p_lang=en.

IMO, 2018. *International Maritime Dangerous Goods Code* (2018 edition). Available at: <https://www.imo.org/en/publications/Pages/IMDG%20Code.aspx>.

Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group (ITRC), 1998. *Technical Guidelines for On-site Thermal Desorption of Solid Media and Low Level Mixed Waste Contaminated with Mercury and/or Hazardous Chlorinated Organics*. Available at: <http://www.itrcweb.org/GuidanceDocuments/td-3.pdf>.

ISO, 2006. *ISO 17852: 2006: Water quality – Determination of mercury - Method using atomic fluorescence spectrometry*. Available at: <https://www.iso.org/standard/38502.html>.

ISO, 2012. *ISO 12846:2012: Water quality – Determination of mercury - Method using atomic absorption spectrometry (AAS) with and without enrichment*. Available at: <https://www.iso.org/standard/51964.html>.

ISO, 2018a. *ISO 18400-104:2018 Soil quality - Sampling - Part 104: Strategies*. Available at: <https://www.iso.org/standard/65223.html>.

ISO, 2018b. *ISO 18400-202:2018 Soil quality - Sampling - Part 202: Preliminary investigations*. Available at: <https://www.iso.org/standard/65225.html>.

ISO, 2018c. *ISO 18400-203:2018 Soil quality - Sampling - Part 203: Investigation of potentially contaminated sites*. Available at: <https://www.iso.org/standard/65226.html>.

ISO, 2020. *ISO 21741:2020 Stationary source emissions — Sampling and determination of mercury compounds in flue gas using gold amalgamation trap*. Available at: <https://www.iso.org/standard/71532.html>.

Jang, M., Hong, S. M. and Park, J. K., 2005. “Characterization and Recovery of Mercury from Spent Fluorescent Lamps”, *Waste Management*, vol. 25, pp. 5-14.

Japan Public Health Association, 2001. *Preventive Measures against Environmental Mercury Pollution and Its Health Effects*, Japan Public Health Association, Tokyo, Japan. Available at <http://nimd.env.go.jp/english/kenkyu/docs/manual.pdf>.

Jew, AD et al., 2014. “Microbially enhanced dissolution of HgS in an acid mine drainage system in the California Coast Range”, *Geobiology*, vol. 12 No. 1, pp. 20-33.

JSA, 1997. *JIS K 0222:1997 Methods for determination of mercury in stack gas*. Available at: https://webdesk.jsa.or.jp/books/W11M0090/index/?bunsyo_id=JIS+K+0222%3A1997.

Kanai, Y. and Endou, H. 2003. “Functional Properties of Multispecific Amino Acid Transporters and Their Implications to Transporter-Mediated Toxicity”, *Journal of Toxicological Sciences*, vol. 28, pp. 1-17. Available at: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jts/28/1/28_1_1/_pdf.

Kerper, L.E., Ballatori, N. and Clarkson, T.W., 1992. “Methylmercury Transport Across the Blood-Brain Barrier by an Amino Acid Carrier”, *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, vol. 262, pp. 761-765.

Kobelco Eco-Solutions Co. Ltd., 2001. “Recycling System for Fluorescent Lamps” [in Japanese], p.45.

Kuncova, H., Petrlik, J. and Stavkova, M., 2007. “Chlorine Production – a Large Source of Mercury Releases (The Czech Republic Case Study)”, prepared by Arnika Association, Prague. Available at: <https://arnika.org/en/publications/chlorine-production-a-large-source-of-mercury-releases>.

Lambrecht, B., 1989. “Zulus Get Exported Poison - US Mercury Waste Pollutes Drinking Water in S. Africa”, *St Louis Post-Dispatch*, p.26.

Lamp Recycling Outreach Project, undated. “Training Module (1-hour version) for Generators and Handlers Of Fluorescent and Mercury-Containing Lamps (and Ballasts)”. Available at: <http://www.almr.org/1hourtrainingmodule.pdf>.

Lindberg, S.E. and Price, J. L., 1999. “Airborne Emissions of Mercury from Municipal Landfill Operations: A Short-Term Measurement Study in Florida”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol., 49, pp. 520-532.

Lindberg, S. E. et al., 2001. “Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA”, *Atmospheric Environment*, vol. 35 No. 23, pp. 4011-4015.

López, F.A. et al., 2010. “Formation of metacinnabar by milling of liquid mercury and elemental sulfur for long term mercury storage”, *Science of the Total Environment*, vol. 408 No. 20, pp. 4341-4345.

López, F.A. et al., 2015. “Mercury leaching from hazardous industrial wastes stabilized by sulfur polymer encapsulation”, *Waste Management*, vol. 35, pp. 301-306.

López-Delgado, A. et al., 2012. “A microencapsulation process of liquid mercury by sulfur polymer stabilization/solidification technology. Part I: Characterization of materials”, *Revista de Metalurgia*, vol. 48 No. 1, pp. 45-57.

Lowell Center for Sustainable Production, 2003. *An Investigation of Alternatives to Mercury Containing Products*. Available at: <https://www.unep.org/resources/report/investigation-alternatives-mercury-containing-products-0>.

Maine Department of Environmental Protection, 2008. *Maine Compact Fluorescent Lamp Study*. Available at: <http://www.maine.gov/dep/rwm/homeowner/cflreport.htm>.

Mattus, C. H., 1999. *Measurements of mercury released from amalgams and sulfide compounds*. Available at: <https://www.osti.gov/biblio/5899>.

Maxson, P., 2011. Personal communication.

MEE China, 1995. *GB/T 15555.1-1995. Solid Waste - Determination of Total Mercury - Cold Atomic Absorption Spectrometry* [in Chinese]. Available at: http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/199601/t19960101_82016.shtml.

MEE China, 2007a. *HJ/T 299-2007. Solid waste - Extraction Procedure for Leaching Toxicity - Sulphuric Acid & Nitric Acid Method* [in Chinese]. Available at: http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/200704/t20070418_102859.shtml.

MEE China, 2007b. *HJ/T 300-2007. Solid waste - Extraction Procedure for Leaching Toxicity - Acetic Acid Buffer Solution Method* [in Chinese]. Available at: http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/200704/t20070418_102860.shtml.

MEE China, 2009. *HJ 543-2009. Stationary Source Emission - Determination of Mercury - Cold Atomic Absorption Spectrophotometry* (Provisional) [in Chinese]. Available at: http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201001/t20100112_184167.shtml.

MEE China, 2010. *HJ 557-2010. Solid waste - Extraction Procedure for Leaching Toxicity - Horizontal Vibration Method* [in Chinese]. Available at: http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201002/t20100209_185623.shtml.

MEE China, 2014. *HJ 702-2014. Solid Waste - Determination of Mercury, Arsenic, Selenium, Bismuth, Antimony - Microwave Dissolution / Atomic Fluorescence Spectrometry* [in Chinese]. Available at: http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201409/t20140912_288936.shtml.

MEE China, 2017. *HJ 917-2017. Stationary Source Emission - Determination of Total Gaseous Mercury - Carbon Sorbent Traps / Thermal Cracking Atomic Absorption Spectrophotometric Method* [in Chinese]. Available at: http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/201801/t20180108_429285.shtml.

MEE China, 2019. *GB 18598-2019. Standard for pollution control on the security landfill site for hazardous wastes* [in Chinese]. Available at: https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/gthw/wxfwjfbfz/201910/t20191012_737241.shtml.

MEE China, 2020. *GB 18599-2020. Standard for pollution control on the non-hazardous industrial solid waste storage and landfill* [in Chinese]. Available at: http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/gthw/gtfwwrkzbz/202012/t20201218_813927.shtml.

Minamata Convention, 2011. *Guidance on Best Available Techniques and Best Environmental Practices* (Chapter VI). Available at: http://mercuryconvention.org/Portals/11/documents/publications/BAT_BEP_E_interractif.pdf.

Ministry of the Environment of Japan, 1997. *Our Intensive Efforts to Overcome the Tragic History of Minamata Disease*.

Ministry of the Environment of Japan, 2002. *Minamata Disease - The History and Measures*. Available at: <http://www.env.go.jp/en/chemi/hs/minamata2002/index.html>.

Ministry of the Environment of Japan, 2007a. *Guidebook for Waste Management - Case Study of Promoting 3Rs in Japan*, JICA Seminar on Waste Management in Japan, Yokohama International Center.

Ministry of the Environment of Japan, 2007b. *Waste Disposal and Recycling Measures*. Available at: <http://www.env.go.jp/en/recycle/manage/waste.html>.

Ministry of the Environment of Japan, 2010. *Lessons from Minamata Disease and Mercury Management in Japan*. Available at: http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/en_full.pdf.

Ministry of the Environment of Japan, 2015. *Japan's policy on the environmentally sound management of mercury wastes (summary)* (recommended by the Central Environment Council in February 2015). Available at: <http://www.env.go.jp/en/recycle/wm/150413jpmw.pdf>.

Ministry of Environmental Protection of China, 2010. *Project Report on the Reduction of Mercury Use and Emission in Carbide PVC Production*.

Mizutani, S., Kadotani, K. and Kanjo, Y., 2010. "Adsorption behavior of mercuric compounds on soils under different pH condition" [in Japanese], *Environmental Engineering Research*, Vol. 47, pp. 267-272.

Mottet, N.K., Shaw, C.M. and Burbacher, T.M., 1985. "Health Risks from Increases in Methylmercury Exposure", *Environmental Health Perspectives*, vol. 63, pp. 133-140. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1568483>.

National Institute for Minamata Disease (NIMD), 1999. "Investigation into Suspected Mercury Contamination at Sihanoukville, Cambodia", *Proceedings of NIMD Forum '99*. Available at: http://nimd.env.go.jp/english/kenkyu/nimd_forum/nimd_forum_1999.pdf#page=134

Nomura Kohsan Co. Ltd., 2007. Treatment of Mercury-containing Wastes at Itomuka Plant of Nomurakohsan Co., Ltd. Tokyo, Japan.

OECD, 2001a. *Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments*.

OECD, 2001b. *Harmonised Integrated Classification System for Human Health and Environmental Hazards of Chemical Substances and Mixtures*. Available at: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=env/jm/mona\(2001\)6](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=env/jm/mona(2001)6).

OECD, 2004. *Recommendation of the Council on the Environmentally Sound Management of Waste*. Available at: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0329>.

OECD, 2007. *Guidance Manual on Environmentally Sound Management of Waste*. Available at: <https://www.oecd.org/environment/waste/39559085.pdf>.

Office of Technology Assessment, 1983. "Case Examples of Process Modification - Appendix 5A", in *Technologies and Management Strategies for Hazardous Waste Control*, The Office of Technology Assessment, Darby, USA, Diane Publishing, pp. 213-217.

Ogaki, Y., Yamada, Y. and Nomura, M., 2004. "Recycling Technology of JFE Group for Recycle Oriented Society" [in Japanese], *JFE GIHO*, vol. 6, pp. 37-43. Available at: <http://www.jfe-steel.co.jp/research/giho/006/pdf/006-07.pdf>.

Oikawa, K. et al., 1983. "Respiratory Tract Retention of Inhaled Air Pollutants, Report 1: Mercury Absorption by Inhaling Through the Nose and Expiring Through the Mouth at Various Concentrations", *Chemosphere*, vol. 11, 943-951.

Oliveira, R.B. et al., 1998. "Methylmercury Intoxication and Histochemical Demonstration of NADPH-Diaphorase Activity in the Striate Cortex of Adult Cats", *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, vol. 31, pp. 1157-1161.

Ozonoff, D.M., 2006. "Methylmercury". Available at: https://www.ijc.org/sites/default/files/health_effects_spring2006.pdf.

Parker, J. L. and Bloom, N.S., 2005. "Preservation and storage techniques for low-level mercury speciation", *Science of the Total Environment*, vol. 337, pp. 253-263.

QSC, 2003. Mercury Stewardship Best Management Practices, October (available on request).

Richardson, G.M. and Allan, M., 1996. "A Monte Carlo Assessment of Mercury Exposure and Risks from Dental Amalgam", *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 2, pp. 709-761.

Richardson, G.M., 2003. "Inhalation of Mercury-Contaminated Particulate Matter by Dentists: An Overlooked Occupational Risk", *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 9, pp. 1519-1531.

Sakamoto, M. et al., 2004. "Maternal and Fetal Mercury and n-3 Polyunsaturated Fatty Acid as a Risk and Benefit of Fish Consumption to Fetus", *Environmental Science and Technology*, 38(14):3860-3. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15298193/>.

Sakamoto, M. et al., 2005. "Difference in Methylmercury Exposure to Fetus and Breast-Feeding Offspring", *Korean Journal of Environmental Health*, vol. 31, pp. 179-186.

Sanborn, J.R. and Brodberg, R.K., 2006. "Evaluation of Bioaccumulation Factors and Translators for Methylmercury". Available at: <https://semspub.epa.gov/work/01/466770.pdf>.

School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, 2000. "Environmental Justice Case Study - Thor Chemicals and Mercury Exposure in Cato-Ridge, Kwazulu-Natal, South Africa". Available at: <http://www.umich.edu/~snre492/Jones/thorchem.htm>.

Science Applications International Corporation, 2002. "Technical Background Document: Mercury Wastes, Evaluation of Treatment of Bulk Elemental Mercury, Final Report". Available at: <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-RCRA-2002-0029-0005>.

Spiegel, S. and Veiga, M., 2006. "Interventions to Reduce Mercury Pollution in Artisanal Gold Mining Sites - lessons from the UNDP/GEF/UNIDO Global Mercury Project", NIMD Forum 2006 II, Minamata City, Ministry of the Environment, Japan, pp. 1-18. Available at: http://nimd.env.go.jp/english/kenkyu/nimd_forum/nimd_forum_2006_II.pdf.

Steffen, A. et al., C. 2007. "A Synthesis of Atmospheric Mercury Depletion Event Chemistry Linking Atmosphere, Snow and Water", *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, vol. 7, pp. 10837-10931.

Tajima, S., 1970. "Studies on the Formation of Methylmercury Compounds. 1. Preparation of Monomercurated Acetaldehyde XHgCH₂CHO and Formation of Methylmercury Compounds from Monomercurated Acetaldehyde" [in Japanese], *Kumamoto Igakkai Zasshi*, vol. 44, pp. 873-886.

Takahashi, Nakamura, Mizoiri, and Shoji, 2004. "Mercury Behaviour in Chuo Bohatei Sotogawa Landfill" [in Japanese], Annual Report of the Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection 2004, pp. 165-171.

Tanel, B., Reyes-Osorno, B. and Tansel, I.N., 1998. "Comparative Analysis of Fluorescent Lamp Recycling and Disposal Options", *Journal of Solid Waste Technology and Management*, vol. 25, pp. 82-88.

United Nations, 2019a. *United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods - Model Regulations* (21st revised edition). Available at: <https://unece.org/rev-21-2019>.

United Nations, 2019b. *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*. Available at: <https://unece.org/about-ghs>.

UNDP, 2010. *Guidance on the Cleanup, Temporary or Intermediate Storage, and Transport of Mercury Waste from Health Care Facilities*. Available at: https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/1030/GEF_Guidance_Cleanup_Storage_Transport_Mercury.pdf.

26. UNECE, 1998. *Heavy Metals Protocol to the Long-range Transboundary Air Pollution*.
27. Available at: <https://unece.org/environment-policy/air/protocol-heavy-metals>.
28.

29. UNECE, 2013. *Guidance document on best available techniques for controlling emissions of heavy metals and their compounds from the source categories listed in annex II*. Available at: <https://unece.org/protocol-heavy-metals-0>.

30.

UNEP, various dates. Global Mercury Partnership reports and publications. Available at: <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/resources>.

UNEP, 2002. *Global Mercury Assessment*. Available at: <http://www.eurocbc.org/final-assessment-report-25nov02.pdf>.

UNEP, 2006a. Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM). Available at: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/SAICM_publication_ENG.pdf.

UNEP, 2006b. *Guide for Reducing Major Uses and Releases of Mercury*. Available at: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/31281>.

UNEP, 2006c. *Summary of Supply, Trade and Demand Information on Mercury*. Available at: <https://www.unep.org/resources/report/summary-supply-trade-and-demand-information-mercury>.

UNEP, 2008a. *The Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport*. Available at: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/13769/UNEP_GlobalAtmosphericMercuryAssessment_May2009.pdf?sequence=1&%3BisAllowed=.

UNEP, 2008b. *Report on the Major Mercury Containing Products and Processes, Their Substitutes and Experience in Switching to Mercury Free Products and Processes*. Available at: http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/meetings/oewg2/English/2_7.pdf.

UNEP, 2008c. *Summary Report on UNEP Mercury Inventory Activities*. Available at: http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/meetings/oewg2/English/2_INF14.pdf.

UNEP, 2010. *Study on mercury sources and emissions and analysis of cost and effectiveness of control measures: "UNEP Paragraph 29 study"* (doc. UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/4). Available at: http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/meetings/inc2/English/INC2_4_para29.pdf.

UNEP, 2013. *Guideline on environmentally sound material recovery and recycling of end-of-life computing equipment*. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/TechnicalAssistance/Partnerships/PACE/PACEGuidelines,ManualandReports/tabid/3247/Default.aspx>.

UNEP, 2015a. *Methodological guide for the development of inventories of hazardous wastes and other wastes under the Basel Convention*. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/Publications/GuidanceManuals/tabid/2364/Default.aspx#>.

UNEP, 2015b. *Manual for the Implementation of the Basel Convention*. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/LegalMatters/Compliance/GeneralIssuesActivities/Activities201415/Manualfortheimplementation/tabid/4160/Default.aspx>.

UNEP, 2015c. *Guide to the Control System*. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/LegalMatters/Compliance/GeneralIssuesActivities/Activities201415/Guidetothecontrolsystem/tabid/3561/Default.aspx>.

UNEP, 2015d. *Report on the status of projects funded under the Quick Start Programme Trust Fund as of October 2015*. Available at: <https://www.saicm.org/Portals/12/Documents/QSP/Status%20QSP%20projects.pdf>.

UNEP, 2016. *Lessons from Countries Phasing Down Dental Amalgam Use*. Available at: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/31212>.

UNEP, 2017a. *Global mercury supply, trade and demand*. Available at: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/21725/global_mercury.pdf?sequence=1&isAlloved=y.

- UNEP, 2017b. *A path to mercury-free artisanal and small scale gold mining*. Available at: <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/resources/video/path-mercury-free-artisanal-and-small-scale-gold-mining>.
- UNEP, 2018a. *Illustrated Guide to Mercury Free Artisanal and Small Scale Gold Mining*. Available at: <https://www.planetgold.org/illustrated-guide-mercury-free-artisanal-and-small-scale-gold-mining>.
- UNEP, 2018b. *Guidelines on the environmentally sound interim storage of mercury other than waste mercury*. Available at: <https://www.mercuryconvention.org/en/documents/guidelines-environmentally-sound-interim-storage-mercury-other-waste-mercury-0>.
- UNEP, 2019a. *Global Mercury Assessment 2018*. Available at: <https://www.unenvironment.org/resources/publication/global-mercury-assessment-2018>.
- UNEP, 2019b. *Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases*. Available at: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30684/HgTlktRef.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- UNEP, 2019c. *Guidance on best available techniques and best environmental practices*. Available at: http://mercuryconvention.org/Portals/11/documents/publications/BAT_BEP_E_interractif.pdf.
- UNEP, 2019d. *Guidance on the management of contaminated sites*. Available at: www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/forms-guidance/English/Guidance_Contaminated_Sites_EN.pdf.
- UNEP, 2022a. *General Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Wastes Consisting of, Containing or Contaminated with Persistent Organic Pollutants*. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/TechnicalMatters/TechnicalGuidelines/tabid/8025/Default.aspx>.
- UNEP, 2022b. *Technical guidelines on the environmentally sound disposal of hazardous wastes and other wastes in specially engineered landfill (D5)*. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/TechnicalMatters/TechnicalGuidelines/tabid/8025/Default.aspx>.
- UNEP, 2022c. *Technical guidelines on the environmentally sound incineration of hazardous wastes and other wastes as covered by disposal operations D10 and R1*. Available at: <http://www.basel.int/Implementation/TechnicalMatters/TechnicalGuidelines/tabid/8025/Default.aspx>.
- UNEP and WHO, 2008. *Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure*. Available at: <https://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf?ua=1>.
- UNEP and SETAC, 2009. *Life Cycle Management*. Available at: <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2012/12/2009%20-%20LCA%20-%20How%20business%20uses%20it.pdf>.
- UNIDO, 2018. *Waste mercury perspective*. Available at: <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-02/UNIDO%20Mercury%20Waste%20Forecast%202025.pdf>.
- U.S. Department of Energy, 2009. *US Department of Energy Interim Guidance on Packaging, Transportation, Receipt, Management, and Long-Term Storage of Elemental Mercury*. Available at: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f15/Elementalmercurystorage%20Interim%20Guidance%20%28dated%202009-11-13%29.pdf>.
- U.S. Department of Transportation, Transport Canada, Secretariat of Communications and Transportation of Mexico (SCT), 2020. *2020 Emergency Response Guidebook*. Available at: <https://www.tc.gc.ca/eng/canutec/guide-menu-227.htm>.
- USEPA, undated. *Treatment Standards for Hazardous Wastes Subject to Land Disposal Restrictions*. Available at: <https://www.epa.gov/hw/treatment-standards-hazardous-wastes-subject-land-disposal-restrictions>.
- USEPA, 1994. *US EPA Method 7470 A: Mercury in Liquid Waste Manual Cold-Vapor Technique*. Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/7470a.pdf>.

USEPA, 1996. *US EPA Method 0060: Determination of Metals in Stack Emissions*. Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/0060.pdf>.

USEPA, 1997a. *Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Mercury and Mercury Compounds*. Available from: <https://www.epa.gov/nscep>.

USEPA, 1997b. *Sensitive Environments and the Siting of Hazardous Waste Management Facilities*. Available at: <https://archive.epa.gov/wastes/wyl/web/pdf/sites.pdf>.

USEPA, 2000. *Proceedings and Summary Report - Workshop on Mercury in Products, Processes, Waste and the Environment: Eliminating, Reducing and Managing Risks from Non-Combustion Sources*. Available at: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=64075.

USEPA, 2007a. *Mercury Treatment Technologies*. Available at: http://www.clu-in.org/contaminantfocus/default.focus/sec/Mercury/cat/Treatment_Technologies.

USEPA, 2007b. *Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste and Water*. Available at: <https://www.epa.gov/remedytech/treatment-technologies-mercury-soil-waste-and-water>.

USEPA, 2007c. *What to Do if You Have a Mercury Spill*. Available at:

<http://www.epa.gov/mercury> USEPA, 2007d. *US EPA Method 7471B: Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)*. Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/7471b.pdf>.

USEPA, 2007e. *US EPA Method 7473: Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry*. Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/7473.pdf>.

USEPA, 2013. *Manual for the Construction of a Mercury Capture System for Use in Gold Processing Shops*. Available at: <https://www.epa.gov/international-cooperation/manual-construction-mercury-capture-system-use-gold-shops>.

USEPA, 2017a. *Method 1313 - Liquid-Solid Partitioning as a Function of Extract pH Using a Parallel Batch Extraction Procedure*. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-10/documents/method_1313_-_final_8-3-17.pdf.

USEPA, 2017b. *Method 1314 - Liquid-Solid Partitioning as a Function of Liquid-Solid Ratio for Constituents in Solid Materials Using an Up-Flow Percolation Column Procedure*. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-10/documents/method_1314_-_final_8-3-17.pdf.

USEPA, 2017c. *Method 1315 - Mass Transfer Rates of Constituents in Monolithic or Compacted Granular Materials Using a Semi-Dynamic Tank Leaching Procedure*. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-10/documents/method_1315_-_final_8-3-17.pdf.

USEPA, 2017d. *Method 1316 - Liquid-Solid Partitioning as a Function of Liquid-Solid Ratio Using a Parallel Batch Extraction Procedure*. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-10/documents/method_1316_-_final_8-3-17.pdf.

USEPA, 2019. *Leaching Environmental Assessment Framework (LEAF) How-To Guide*. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-05/documents/final_leaching_environmental_assessment_framework_leaf_how-to_guide.pdf.

Vosteen, Bernhard W., Rico Kanefke and Heinz Köser, 2006. "Bromine-enhanced Mercury Abatement from Combustion Flue Gases - Recent Industrial Applications and Laboratory Research." *International Journal for Electricity and Heat Generation* 86, no. 3/2006: 70-75. Available at: https://www.vosteen-consulting.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/2006/2006_03_Vosteen_Consulting_Special_print_VGB_PT03_06_U.pdf.

Waples, Jacob S. et al., 2005. "Dissolution of cinnabar (HgS) in the presence of natural organic matter", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 69 No. 6, pp. 1575-1588.

Waste and Resources Action Programme, 2010. *Demonstration of Flat Panel Display recycling technologies*.

WHO, 1972. *WHO Food Additives Series, No.4: Evaluation of Mercury, Lead, Cadmium and the Food Additives Amaranth, Diethylpyrocarbonate, and Octyl Gallate*. Available at: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v004je07.htm>.

WHO, 1990. *Environmental Health Criteria 101: Methylmercury*. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm>.

WHO, 1991. *Environmental Health Criteria 118: Inorganic Mercury*. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc118.htm>.

WHO, 2003. *Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds: Human Health Aspects*. Available at: <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad50.pdf>.

WHO, 2010. *Future Use of Materials for Dental Restoration*. Available at: https://www.who.int/oral_health/publications/dental_material_2011.pdf.

WHO, 2011. *Replacement of mercury thermometers and sphygmomanometers in health care Technical guidance*. Available at: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44592/9789241548182_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

WHO, 2017. *Guidelines for drinking-water quality, fourth edition, incorporating the first addendum*. Available at: [https://www.who.int/publications/m/item/guidelines-for-drinking-water-quality-4th-ed.-incorporating-the-1st-addendum-\(chapters\)](https://www.who.int/publications/m/item/guidelines-for-drinking-water-quality-4th-ed.-incorporating-the-1st-addendum-(chapters)).

WHO Regional Office for Europe, 2000. *Air Quality Guidelines - Second Edition*. Available at: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/123079/AQG2ndEd_6_9Mercury.PDF.

Wood, J.M., 1974. "Biological Cycles for Toxic Elements in the Environment", *Science*, vol. 15, pp. 1043-1048.

World Chlorine Council, 2020. *World Chlorine Council Report to UNEP on Chlor-Alkali Partnership - Data 2019*. Available at: <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/resources/report/world-chlorine-council-report-unep-chlor-alkali-partnership-data-2019>.

World Nuclear Association, 2020. *Storage and Disposal of Radioactive Waste*. Available at: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-waste/storage-and-disposal-of-radioactive-waste.aspx>.

Yanase R., Hirato, O. and Matsufuji, Y., 2009. "Behaviour of Mercury from Used Batteries in Landfills over 20 Years", *Journal of the Japan Society of Material Cycles and Waste Management*, vol. 20 No. 1, pp. 12-23.

Zero Mercury Working Group et al., 2009. *Mercury Rising: Reducing Global Emissions from Burning Mercury-Added Products*. Available at: https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/MercuryRising_Feb2009.pdf.

Zhang, L., Cao S., Zhu X., Zhou P., and Zhao Y., 2019. *Meeting Minamata: A Cost-Effective Compliance Roadmap for Mercury Pollution Control in China's Non-Ferrous Metal (Zinc, Lead and Copper) Smelters* prepared for Natural Resources Defense Council.

Zhao C., and Luo K., 2017. "Sulfur, arsenic, fluorine and mercury emissions resulting from coal-washing byproducts: A critical component of China's emission inventory", *Atmospheric Environment*, vol.152, pp. 270-278.