



**PROGRAMA DE LAS NACIONES  
UNIDAS PARA EL MEDIO  
AMBIENTE**



**PRODUCTOS QUÍMICOS**

**Instrumental para la  
identificación y cuantificación de  
liberaciones de mercurio**

**BORRADOR PRELIMINAR**

Noviembre de 2005



**IOMC**

**PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS**

Un acuerdo de cooperación entre PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR y OCDE





**PROGRAMA DE LAS NACIONES  
UNIDAS PARA EL MEDIO  
AMBIENTE**



**PRODUCTOS QUÍMICOS**

**Instrumental para la identificación y  
cuantificación de liberaciones de  
mercurio**

**BORRADOR PRELIMINAR**

Noviembre de 2005

Preparado por PNUMA Productos Químicos

Ginebra, Suiza

*Este borrador preliminar titulado “Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio” es la primera versión de esta publicación. Su objetivo es orientar a los países en la elaboración de inventarios nacionales o regionales de liberaciones de mercurio. El documento será ampliado y se publicarán otras ediciones conforme se considere pertinente. Ésta y las subsiguientes versiones del instrumental se pondrán a disposición pública mediante la página web sobre mercurio de Productos Químicos, PNUMA: <http://www.chem.unep.ch/mercury/>.*

**Cláusula de exención de responsabilidad:**

El objetivo de esta publicación es brindar orientación. La información contenida en el presente documento proviene de publicaciones científicas, informes gubernamentales e Internet, así como de intercambios personales. Aun considerando que dicha información es fidedigna, el PNUMA declina toda responsabilidad en cuanto a posibles inexactitudes u omisiones, y a las consecuencias que éstas pudieran tener. Ni el PNUMA ni ninguna de las personas implicadas en la elaboración de esta publicación podrán ser sujetos de responsabilidad civil por cualquier tipo de lesión, pérdida, daño o perjuicio causados por personas cuyas acciones están fundadas en su propio entendimiento de la información brindada en esta publicación.

La designación empleada y la presentación del material en la presente publicación no implican en modo alguna la expresión de ningún tipo de opinión por parte de las Naciones Unidas o del PNUMA con respecto a la situación jurídica de ningún país, territorio, ciudad o área o a ninguna de sus autoridades, ni en relación con cualquier tipo de delimitación de sus fronteras o límites. Las opiniones vertidas en el documento no reflejan necesariamente las propias del PNUMA.

Esta publicación se produce dentro del marco del Programa Interinstitucional para el Manejo Adecuado de los Productos Químicos (IOMC).

*El Programa Interinstitucional para el Manejo Adecuado de los Productos Químicos (IOMC) fue creado en 1995 por el PNUMA, la OIT, la FAO, la OMS, la ONUDI y la OCDE (organizaciones participantes) a raíz de las recomendaciones formuladas en 1992 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo a fin de fortalecer la cooperación y aumentar la coordinación en el ámbito de la seguridad química. En enero de 1998, el UNITAR se adhirió formalmente al IOMC en calidad de organización participante. El objetivo de la IOMC es promover la coordinación de las políticas y actividades de las organizaciones participantes, colectiva o individualmente, con miras al manejo adecuado de las sustancias químicas en relación con la salud humana y el medio ambiente.*

El material que figura en la presente publicación se puede citar o reimprimir libremente, siempre y cuando se cite y haga referencia explícita a este documento. Deberá de enviarse un ejemplar de la publicación que contenga la cita o reimpresión a Productos Químicos, PNUMA.

Si desea ejemplares de este documento, solicítelos a:

Productos Químicos, PNUMA  
11-13, chemin des Anémones  
CH-1219 Châtelaine, Ginebra  
Suiza

Tel.: +41 22 917 1234

Fax: +41 22 797 3460

Correo-e: [chemicals@unep.ch](mailto:chemicals@unep.ch)

Sitio web: <http://www.chem.unep.ch/mercury/>

# Índice

<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>1</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>3</b>
1.1 Antecedentes	3
1.2 El contexto del presente instrumental	5
<b>2 Los inventarios de mercurio y el presente instrumental</b>	<b>7</b>
2.1 Objetivo de los inventarios de mercurio	7
2.2 Objetivos del presente instrumental	7
2.3 Limitaciones del presente instrumental	8
2.4 Bibliografía recomendada	9
<b>3 Fuentes antropogénicas de liberación de mercurio</b>	<b>12</b>
3.1 Procesos de emisión al medio ambiente	13
3.2 Ejemplos de liberaciones de mercurio a diferentes vías	15
<b>4 Pasos para la elaboración de un inventario de mercurio</b>	<b>18</b>
4.1 Introducción al concepto de inventario	18
4.1.1 Enfoque del ciclo de vida	19
4.2 Paso 1: matriz de selección; identificación de las principales categorías de fuentes	23
4.3 Paso 2: identificación de subcategorías de fuentes	24
4.3.1 Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía	25
4.3.2 Producción primaria (virgen) de metales	26
4.3.3 Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio	27
4.3.4 Uso deliberado de mercurio en procesos industriales	28
4.3.5 Productos de consumo con uso deliberado de mercurio	29
4.3.6 Otros productos/procesos con uso deliberado de mercurio	30
4.3.7 Producción de metales reciclados (producción “secundaria” de metales)	31
4.3.8 Incineración de desechos	32
4.3.9 Disposición de desechos/rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales	33
4.3.10 Crematorios y cementerios	34
4.3.11 Identificación de puntos calientes potenciales	35
4.4 Paso 3: recopilación de datos y cuantificación de liberaciones de mercurio	36
4.4.1 Principios para la cuantificación	36
4.4.2 Uso de las tasas de actividad	39
4.4.3 Seleccionar los factores de entrada de mercurio	42
4.4.4 Seleccionar los factores de distribución de salidas	43
4.4.5 Recopilación de datos	45
4.4.6 Balance de entradas y salidas de mercurio para controlar las cuantificaciones	47
4.4.7 Ejemplos de cálculos de liberaciones de diversos tipos de fuentes	47
4.5 Paso 4: presentación del inventario	60

4.5.1	Elementos clave del inventario	60
4.5.2	Estructura normalizada del informe	62
4.5.3	Hoja de datos para el cálculo de las liberaciones	62
4.5.4	Sugerencias para la elaboración del informe provisional	62
<b>5</b>	<b>Descripciones detalladas de las fuentes de liberaciones de mercurio y factores de entrada y salida de mercurio</b>	<b>64</b>
5.1	Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía	66
5.1.1	Combustión de carbón en grandes centrales de energía	66
5.1.2	Otros usos de carbón	75
5.1.3	Aceites minerales – extracción, refinación y uso	80
5.1.4	Gas natural – extracción, refinación y uso	88
5.1.5	Otros combustibles fósiles – extracción y uso	93
5.1.6	Energía a base de quema de biomasa y producción de calor	94
5.1.7	Producción de energía geotérmica	97
5.2	Producción primaria (virgen) de metales	99
5.2.1	Extracción y procesamiento inicial de mercurio	99
5.2.2	Extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio	101
5.2.3	Extracción y procesamiento inicial de zinc	107
5.2.4	Extracción y procesamiento inicial de cobre	120
5.2.5	Extracción y procesamiento inicial de plomo	128
5.2.6	Extracción y procesamiento inicial de oro mediante procesos distintos de la amalgamación de mercurio	133
5.2.7	Extracción y procesamiento inicial de aluminio	138
5.2.8	Extracción y procesamiento de otros metales no ferrosos	140
5.2.9	Producción primaria de metales ferrosos	141
5.3	Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio	145
5.3.1	Producción de cemento	145
5.3.2	Producción de pulpa y papel	152
5.3.3	Producción de cal y hornos de agregados ligeros	155
5.3.4	Otros minerales y materiales	159
5.4	Uso deliberado de mercurio en procesos industriales	160
5.4.1	Producción de cloroálcali con tecnología de mercurio	160
5.4.2	Producción de VCM (monómeros de cloruro de vinilo) con bicloruro de mercurio (HgCl <sub>2</sub> ) como catalizador	171
5.4.3	Producción de acetaldehídos con sulfato de mercurio (HgSO <sub>4</sub> ) como catalizador	173
5.4.4	Otras formas de producción de químicos y polímeros con compuestos de mercurio como catalizadores	174
5.5	Productos de consumo con uso deliberado de mercurio	175
5.5.1	Termómetros con mercurio	175
5.5.2	Interruptores eléctricos y relevadores con mercurio	183
5.5.3	Fuentes de luz con mercurio	193
5.5.4	Pilas con mercurio	201
5.5.5	Biocidas y pesticidas	207
5.5.6	Pinturas	209

5.5.7	Productos farmacéuticos de uso humano y veterinario	212
5.5.8	Cosméticos y productos relacionados	213
5.6	Otros usos deliberados en productos/procesos	217
5.6.1	Amalgamas dentales de mercurio	217
5.6.2	Manómetros y medidores	223
5.6.3	Químicos y equipos de laboratorio	225
5.6.4	Uso del metal mercurio en rituales religiosos y medicina tradicional	230
5.6.5	Usos de productos misceláneos, usos de metal mercurio y otras fuentes	230
5.7	Producción de metales reciclados (producción “secundaria” de metales)	232
5.7.1	Producción de mercurio reciclado (“producción secundaria”)	232
5.7.2	Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)	235
5.7.3	Producción de otros metales reciclados	237
5.8	Incineración de desechos	239
5.8.1	Incineración de desechos municipales/generales	239
5.8.2	Incineración de desechos peligrosos	248
5.8.3	Incineración de desechos médicos	250
5.8.4	Incineración de lodos cloacales	255
5.8.5	Incineración informal de desechos	258
5.9	Disposición de desechos/rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales	260
5.9.1	Rellenos sanitarios/depósitos controlados	260
5.9.2	Disposición difusa con cierto grado de control	265
5.9.3	Disposición local informal de los desechos de la producción industrial	265
5.9.4	Vertederos informales de desechos	266
5.9.5	Sistemas/tratamiento de aguas residuales	266
5.10	Crematorios y cementerios	272
5.10.1	Crematorios	272
5.10.2	Cementerios	275
5.11	Identificación de puntos calientes potenciales	278
<b>6</b>	<b>Referencias</b>	<b>279</b>
<b>7</b>	<b>Glosario, siglas y abreviaturas</b>	<b>290</b>
<b>8</b>	<b>Anexos técnicos</b>	<b>293</b>
8.1	Concentraciones de mercurio en esfalerita en concentrados para la extracción de zinc	293
<b>9</b>	<b>Anexos</b>	<b>298</b>
9.1	Formulario normalizado para la presentación del inventario	298
9.2	Muestra de hoja de cálculo para facilitar el cálculo de las liberaciones de mercurio	301

## Resumen ejecutivo

1. Después de considerar los resultados clave del informe Evaluación Mundial del Mercurio, el Consejo de Administración del PNUMA concluyó, durante su Vigésima Segunda Sesión celebrada en febrero de 2003, que existen suficientes evidencias de los importantes impactos del mercurio alrededor del mundo para justificar medidas internacionales adicionales a fin de disminuir los riesgos que representan las liberaciones de mercurio al medio ambiente para los humanos, la flora y la fauna. El Consejo de Administración decidió la adopción más inmediata posible de medidas nacionales, regionales e internacionales, y exhortó a todos los países a establecer metas y a actuar, según corresponda, para identificar a las poblaciones en riesgo y reducir las liberaciones generadas por los seres humanos. Este compromiso para ocuparse de los impactos adversos de la contaminación por mercurio en el mundo se vio reforzado por la participación de los gobiernos durante la Vigésima Tercera Sesión del Consejo de Administración, celebrada en febrero de 2005. Asimismo, el Consejo de Administración solicitó al PNUMA que, en colaboración y consulta con otras organizaciones, facilitara y llevara a cabo actividades de asistencia técnica y fortalecimiento de capacidades con miras a apoyar los esfuerzos de los países para tomar medidas acerca de la contaminación por mercurio.
2. En respuesta a la solicitud del Consejo de Administración, el PNUMA creó un programa mercurio dentro del PNUMA Productos Químicos con el objetivo inmediato de exhortar a todos los países a establecer metas y tomar medidas, según corresponda, para identificar a las poblaciones expuestas, minimizar la exposición con actividades de difusión y reducir las liberaciones antropogénicas de mercurio.
3. Parte importante del programa es la preparación de materiales de capacitación, documentos de orientación e instrumentales sobre diversos temas relevantes que puedan resultar útiles a los gobiernos y otros actores durante la evaluación y atención a la contaminación por mercurio. Los gobiernos tendrán que desarrollar la plataforma de conocimientos necesaria para evaluar los riesgos que implica el mercurio y tomar las medidas adecuadas para disminuirlos. El “Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio” (instrumental) pretende asistir a los países en la construcción de dicha plataforma de conocimientos mediante la elaboración de un inventario de mercurio que identifique las fuentes de las liberaciones de mercurio y calcule o cuantifique dichas liberaciones.
4. Combinadas con conocimientos adicionales en torno a los tipos específicos de fuentes de liberaciones y las opciones disponibles para lograr reducirlas, las medidas de reducción más rentables pueden identificarse para su selección durante el proceso de toma de decisiones. Es común que esos inventarios sean clave en la comunicación con actores de la esfera industrial o comercial, y con el público en general.
5. Además, los inventarios base y las actualizaciones subsiguientes pueden servir para monitorear los avances hacia el cumplimiento de las metas preestablecidas y, por ende, para identificar enfoques exitosos que pudieran servir de ejemplo en otras áreas, así como áreas en las que las medidas aplicadas hayan sido inadecuadas y se requiera de más atención y otras iniciativas.
6. El presente instrumental tiene por objetivo brindar asistencia a aquellos países en proceso de elaboración de un inventario de mercurio para calcular las liberaciones y guiarlos en el proceso de mejorar y pulir dichos inventarios. La meta del instrumental es brindar orientación a los responsables de la elaboración del inventario de cada país sobre las diferentes técnicas y etapas de desarrollo del inventario al ofrecerles una metodología, ejemplos ilustrativos e información amplia sobre las fuentes de liberaciones de mercurio. Así, el instrumental facilita y aminora la carga de trabajo que implica la elaboración de inventarios nacionales o regionales de mercurio.



7. El instrumental está diseñado para producir una metodología simple y normalizada, así como una respectiva base de datos que permita articular inventarios nacionales y regionales de mercurio que sean consistentes. Comprende un procedimiento recomendado por el PNUMA para la compilación efectiva de inventarios de fuentes y liberaciones de mercurio. Los datos comparables de liberaciones de mercurio por tipo de fuente mejorarán la cooperación, el debate, la definición de metas y la asistencia internacionales. Los datos comparables también ayudan a disponer de un cuadro general de la escala de las liberaciones como paso hacia el establecimiento de medidas prioritarias para controlarlas o reducirlas, e incrementan las posibilidades de ampliar la base de conocimientos internacionales respecto a los usos y las liberaciones de mercurio.

8. La metodología consiste en un procedimiento de cuatro pasos que facilita la elaboración de inventarios consistentes y comparables.

9. Como primer paso, se aplica una matriz gruesa de selección para identificar las principales categorías de fuentes de mercurio en el país. Del mismo modo, se identifican y recopilan los inventarios o descripciones de fuentes de mercurio ya existentes en el país (o región).

10. En el segundo paso, se hace una clasificación adicional de las principales fuentes para crear subcategorías e identificar cada actividad capaz de liberar mercurio. Si sólo se desea llegar a una identificación cualitativa de los tipos de fuentes presentes en el país o región en cuestión, es posible omitir el paso tres (cuantificación) y presentar un informe de datos cualitativos a modo de lista anotada de las principales categorías y subcategorías de fuentes encontradas en el país.

11. El inventario cuantitativo se elabora en el tercer paso. En este punto, cabe evaluar la pertinencia de crear un inventario cuantitativo desde el principio o si, como paso inicial, se desea contra con un inventario provisional para apoyar el establecimiento de prioridades futuras e iniciar la comunicación entre los participantes/revisores del inventario. En el caso de un inventario cuantitativo completo, se reúnen datos sobre el volumen de actividad (“tasas de actividad”) e información específica por proceso a fin de calcular las liberaciones de mercurio a partir de las fuentes identificadas en el país (o región) en cuestión. Las liberaciones se calculan por medio de la ecuación, los procedimientos y los datos del tipo de fuente detallados en el instrumental. No obstante, dadas las incertidumbres y complejidades intrínsecas, se anticipa que muchos inventarios sólo muestren información cualitativa de las emisiones o de uso cuantitativo para determinadas fuentes. En algunos casos dicha información bastará para identificar y dar inicio a actividades para la reducción del mercurio en determinado país o región.

12. El cuarto y último paso consiste en la compilación del inventario normalizado de mercurio a partir de los resultados obtenidos en los pasos 1, 2 y 3. Se incluye un formato de presentación normalizado a fin de asegurar la consideración de todas las fuentes conocidas (aun cuando no sea posible cuantificarlas), la evidencia de lagunas de datos y la transparencia y posibilidad de comparar los inventarios.

13. El inventario final de mercurio evidenciará la consideración de todas las fuentes potenciales, incluso si la actividad no existe o es poco significativa en el país en cuestión. Cada fuente dentro de cada país contará con un cálculo de liberaciones a todos los medios si se dispone de datos suficientes y con una indicación de magnitud probable si no hay datos completos. Se listarán las principales lagunas de datos. En conjunto, el proceso coadyuvará a la interpretación de los resultados y el establecimiento de medidas prioritarias a tomar.

# 1 Introducción

## 1.1 Antecedentes

### **Las liberaciones de mercurio al medio ambiente amenazan a los seres humanos, a la flora y a la fauna**

14. La Evaluación Mundial del Mercurio,<sup>1</sup> publicada en diciembre de 2002 por un grupo de trabajo del PNUMA, muestra que los niveles de mercurio en el medio ambiente se han incrementado considerablemente desde el inicio de la era industrial. Hoy, el mercurio está presente en diversos medios y alimentos, particularmente peces, en niveles que afectan a los seres humanos, la flora y la fauna del mundo entero. Las exposiciones al mercurio se han generalizado debido a las fuentes de emisión antropogénica. Incluso en regiones donde las liberaciones no son significativas, como es el caso del Ártico, se registran efectos adversos debido al desplazamiento del mercurio a grandes distancias.

15. El mercurio es altamente tóxico, sobre todo para el sistema nervioso en desarrollo. Algunas poblaciones son especialmente susceptibles a dicha toxicidad, en particular los fetos y los niños pequeños. Sin embargo, muchos productos y procesos alrededor del mundo siguen usando mercurio, entre ellos la extracción de oro en pequeña escala, los manómetros y termómetros, los interruptores eléctricos, las lámparas fluorescentes, las amalgamas dentales, las pilas y la producción de monómeros de cloruro de vinilo, además de algunos productos farmacéuticos. Las liberaciones de mercurio al medio ambiente más importantes son las emisiones al aire, pero también hay liberaciones directas desde las fuentes al agua y los suelos. Entre las fuentes relevantes de emisiones destacan: la generación de energía a carbón, la incineración de desechos, el cemento, la producción de acero y cloro, la extracción de oro y otros metales, la cremación, los rellenos sanitarios y otras fuentes, como las operaciones de fundición secundaria y la producción industrial de químicos inorgánicos.

16. Una vez liberado, el mercurio persiste en el medio ambiente y circula en el aire, los suelos y la biota adoptando distintas formas. Cuando se deposita, su forma puede cambiar (por los microbios) y transformarse en metilmercurio, una forma particularmente peligrosa que se concentra en cadenas alimenticias, sobre todo en la cadena alimenticia acuática. La mayoría de las personas tiene una exposición básica al metilmercurio a través de los alimentos, sobre todo el pescado, y al mercurio elemental debido a las amalgamas dentales y a diversos tipos de empleo (como la extracción minera en pequeña escala). Las cremas para aclarar la piel, el mercurio empleado con motivos rituales y en medicina tradicional y los derrames de mercurio en el hogar constituyen otras fuentes de exposición a esta sustancia.

17. El pescado constituye un componente valioso y nutritivo de la dieta humana. El mercurio es una amenaza seria para esta importante fuente de alimento. Se han registrado altos niveles de mercurio en muy diversas especies marinas en todo el mundo. Los niveles más altos se encuentran en los grandes depredadores. Las personas que consumen cantidades importantes de pescado contaminado podrían estar en riesgo. Además, es común que los animales que basan parte importante de su dieta en el consumo de pescado, como las nutrias, las águilas, las focas y ciertas ballenas, muestren altos niveles de mercurio.

18. Si desea información más detallada sobre la química, la toxicología, las exposiciones y las evaluaciones de riesgos para los seres humanos, los impactos en el medio ambiente, los ciclos en el

---

<sup>1</sup> La Evaluación Mundial del Mercurio (PNUMA, 2002), un exhaustivo informe que cubre la mayoría de los asuntos relevantes a la contaminación por mercurio, está disponible en la página web del PNUMA Productos Químicos (URL: <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Final%20Assessment%20report.htm>). Es posible solicitar ejemplares impresos al PNUMA Productos Químicos a través de la dirección postal que se encuentra en la contratapa del presente documento.

medio ambiente mundial y las posibles tecnologías de prevención y control de liberaciones y limitación del uso y la exposición al mercurio, consulte el informe Evaluación Mundial del Mercurio (PNUMA, 2000).

### **Los líderes ambientales hacen un llamado para actuar ante la contaminación mundial por mercurio**

19. Después de considerar los resultados clave del informe Evaluación Mundial del Mercurio, el Consejo de Administración del PNUMA concluyó, durante su Vigésima Segunda Sesión celebrada en febrero de 2003, que existen suficientes evidencias de los importantes impactos del mercurio alrededor del mundo para justificar medidas internacionales adicionales a fin de disminuir los riesgos que representan las liberaciones de mercurio al medio ambiente para los humanos, la flora y la fauna. El Consejo de Administración decidió la adopción más inmediata posible de medidas nacionales, regionales e internacionales, y exhortó a todos los países a establecer metas y a actuar, según corresponda, para identificar a las poblaciones en riesgo y reducir las liberaciones generadas por los seres humanos.

20. El Consejo de Administración solicitó al PNUMA que, en colaboración y consulta con otras organizaciones, facilitara y llevara a cabo actividades de asistencia técnica y fortalecimiento de capacidades con miras a apoyar los esfuerzos de los países para tomar medidas acerca de la contaminación por mercurio. Este compromiso se vio reforzado por la participación de los gobiernos durante la Vigésima Tercera Sesión del Consejo de Administración, celebrada en febrero de 2005.

### **Fortalecer las capacidades nacionales para ocuparse de la contaminación por mercurio**

21. En respuesta a la solicitud del Consejo de Administración, el PNUMA creó un programa mercurio dentro del PNUMA Productos Químicos con el objetivo inmediato de exhortar a todos los países a establecer metas y tomar medidas, según corresponda, para identificar a las poblaciones expuestas, minimizar la exposición con actividades de difusión y reducir las liberaciones antropogénicas de mercurio.

22. Entre las prioridades del programa destaca el brindar asistencia a los países en la evaluación de su situación en términos de la contaminación por mercurio y la identificación de posibles vías para hacer frente a los impactos adversos, por ejemplo mediante la elaboración de herramientas y estrategias para mitigar los problemas, sensibilizar al público y promover productos sin mercurio o el uso responsable del mercurio, según corresponde, además de formular estrategias para mejorar la comunicación y llegar a las poblaciones en riesgo.

23. Al poner en práctica estas actividades, el PNUMA Productos Químicos buscará la consultoría, la cooperación y la formación de alianzas con gobiernos, organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales que se ocupen de los temas relacionados con el mercurio y sus compuestos, sin olvidar la necesidad de evitar la duplicación de esfuerzos y dependiendo, en la medida de lo posible, de las instituciones e infraestructuras ya vigentes.

24. Parte importante del programa es la preparación de materiales de capacitación, documentos de orientación e instrumentales sobre diversos temas relevantes que puedan resultar útiles a los gobiernos y otros actores durante la evaluación y atención a la contaminación por mercurio. Los gobiernos tendrán que desarrollar la plataforma de conocimientos necesaria para evaluar los riesgos que implica el mercurio y tomar las medidas adecuadas para disminuirlos. El “Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio” (instrumental) pretende asistir a los países en la construcción de dicha plataforma de conocimientos mediante la elaboración de un inventario de mercurio que identifique las fuentes de las liberaciones de mercurio y calcule o cuantifique dichas liberaciones.

25. El capítulo 2 describe el objetivo de elaborar un inventario de mercurio y ofrece orientación sobre cómo usarlo. El capítulo 4 describe la metodología usada en el presente instrumental.

## 1.2 El contexto del presente instrumental

### El borrador preliminar del instrumental

26. El instrumental se publica inicialmente como borrador preliminar con el propósito de circularlo para hacer pruebas pilotos y recopilar comentarios. Después se publicarán versiones ampliadas y corregidas. La versión más actualizada del instrumental siempre estará disponible en la página web del PNUMA Productos Químicos: <http://www.chem.unep.ch/mercury/>

27. Este borrador preliminar sigue estrechamente el enfoque y la metodología desarrollados y aplicados en la segunda edición (febrero de 2005) del “Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos”, publicado por PNUMA Productos Químicos. Se han tomado algunos pasajes del instrumental sobre dioxinas y furanos para aplicarlos al presente instrumental sobre mercurio cuando se ha considerado pertinente. El instrumental de dioxinas y furanos, cuyo enfoque y metodología han sido sometidos a pruebas piloto en diversos países, ya ha sido objeto de varias rondas de comentarios y modificaciones por parte de los expertos en la preparación de inventarios. En términos generales, se reconoce la solidez de la metodología desarrollada y la Conferencia de las Partes del Convenio de Estocolmo a celebrarse en mayo de 2006 considerará refrendar el instrumental como documento de orientación para la presentación de informes de liberaciones de conformidad con el Artículo 5 del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes y como metodología de los planes de aplicación nacional para la compilación de inventarios de liberaciones de dioxinas (PCDD) y furanos (PCDF). De hecho, muchos países ya usan el instrumental de dioxinas y furanos para compilar inventarios de liberaciones.

28. Este borrador preliminar del instrumental sobre mercurio se elaboró con la asistencia de COWI Consulting Engineers and Planners AS en Dinamarca. Nuestros colaboradores fueron el Sr. Jakob Maag y el Dr. Carsten Lassen; ambos cuentan con amplia experiencia y han participado activamente en la preparación de diversas publicaciones nacionales e internacionales sobre el tema del mercurio. Los siguientes miembros del PNUMA Productos Químicos colaboraron con la redacción, edición y terminación del instrumental: Sra. Aase Tuxen, Sr. Charles French y Sr. Juan F. Caicedo.

### Evolución del presente instrumental

29. Como ocurre con todas las metodologías, es necesario poner en práctica, validar y actualizar el instrumental. No se trata de un documento acabado, sino de un texto a ser actualizado y modificado, tanto como sea pertinente y factible, para tomar en cuenta la información y las experiencias que se vayan generando. Además, ya que este borrador preliminar parte básicamente de las experiencias y la información recabada en países industrializados, tratándose de ciertas fuentes de liberaciones podría no reflejar plenamente las condiciones de los países en desarrollo en los que es posible que haya liberaciones incontroladas y que exista un importante sector informal. Por ende, los insumos y datos de otras regiones del mundo son muy importantes para contar con una base más amplia de conocimientos acerca de las diferentes fuentes de liberaciones de mercurio y mejorar la aplicabilidad del instrumental.

30. La publicación del presente borrador preliminar tiene lugar tras la celebración de diversos talleres para países en desarrollo y países con economías en transición cuyo objetivo fue generar una mayor conciencia en torno a asuntos internacionales vinculados a la contaminación por mercurio y ayudar a dichos países a evaluar su situación respecto a este tipo de contaminación y a identificar posibles vías para atender los consecuentes impactos adversos. Esperamos que este instrumental facilite la tarea de aquellos países interesados en crear o mejorar sus inventarios de usos y liberaciones de mercurio. Esperamos también que los países estén dispuestos a hacer pruebas piloto con estos materiales y envíen comentarios que nos permitan mejorar la calidad y utilidad del instrumental.

31. PNUMA Productos Químicos invita a todos los usuarios del instrumental a manifestar sus comentarios acerca de cualquier aspecto de este producto que consideren pertinente. Los usuarios del borrador preliminar del instrumental pueden recurrir a PNUMA Productos Químicos en caso de tener

problemas para aplicar, interpretar y poner en práctica los contenidos, o bien cuando el sistema no sea aplicable a la situación particular del país en cuestión.

32. Se exhorta a los países a usar el instrumental para entregar sus inventarios al PNUMA Productos Químicos. Los datos se pondrán a disposición pública en la página web del programa mercurio: <http://www.chem.unep.ch/mercury/>. Con el tiempo, se espera tener la capacidad de ofrecer, además de inventarios nacionales de diversas regiones, un foro para el intercambio de información sobre las experiencias de cada país en la consolidación de inventarios, estudios de caso, publicaciones nuevas, etc.

## **2 Los inventarios de mercurio y el presente instrumental**

### **2.1 Objetivo de los inventarios de mercurio**

33. Los inventarios de liberaciones de las principales sustancias peligrosas constituyen una importante herramienta para la toma de decisiones en el proceso de mitigación de los impactos ambientales de los contaminantes en cuestión. Cuando un país ha decidido que la contaminación por mercurio es un problema prioritario que amerita una evaluación más profunda, necesita calcular tanto las contribuciones relativas como absolutas a las liberaciones de mercurio de las diferentes fuentes en el país. Esta información puede ser útil para determinar qué tipos de fuentes de liberaciones son significativos y a qué fuentes deben dirigirse las iniciativas para la reducción de liberaciones.

34. Combinadas con conocimientos adicionales en torno a los tipos específicos de fuentes de liberaciones y las opciones disponibles para lograr reducirlos, las medidas de reducción más rentables pueden identificarse para su selección durante el proceso de toma de decisiones. Es común que esos inventarios sean clave en la comunicación con actores de la esfera industrial o comercial, y con el público en general.

35. Además, los inventarios base y las actualizaciones subsiguientes pueden servir para monitorear los avances hacia el cumplimiento de las metas preestablecidas y, por ende, para identificar enfoques exitosos que pudieran servir de ejemplo en otras áreas, así como áreas en las que las medidas aplicadas hayan sido inadecuadas y se requiera de más atención y otras iniciativas.

### **2.2 Objetivos del presente instrumental**

36. El presente instrumental tiene por objetivo brindar asistencia a aquellos países que desean elaborar un inventario de mercurio para calcular las liberaciones y guiarlos en el proceso de mejorar y pulir dichos inventarios. La meta del instrumental es brindar orientación a los responsables de la elaboración del inventario de cada país sobre las diferentes técnicas y etapas de desarrollo del inventario al ofrecerles una metodología, ejemplos ilustrativos e información amplia sobre las fuentes de liberaciones de mercurio. Así, el instrumental facilita y aminora la carga de trabajo que implica la elaboración de inventarios nacionales o regionales de mercurio.

37. El instrumental señala las vías que sigue el mercurio dentro de la sociedad y las vías de liberación al medio ambiente y a otros medios receptores. Si bien muchos inventarios evalúan las liberaciones a un solo medio, principalmente la atmósfera, el instrumental pretende brindar una metodología acompañada de factores de entrada y factores de distribución de emisiones que pueda servir para calcular las liberaciones de mercurio a todo tipo de medios (aire, agua, tierra, productos y residuos).

38. El instrumental está diseñado para producir una metodología simple y normalizada, así como una respectiva base de datos que permita articular inventarios nacionales y regionales de mercurio que sean consistentes. Comprende un procedimiento recomendado por el PNUMA para la compilación efectiva de inventarios de fuentes y liberaciones de mercurio. Los datos comparables de liberaciones de mercurio por tipo de fuente mejoran la cooperación, el debate, la definición de metas y la asistencia internacionales. Los datos comparables también ayudan a disponer de un cuadro general de la escala de las liberaciones como paso hacia el establecimiento de medidas prioritarias para controlarlas o reducirlos, e incrementan las posibilidades de ampliar la base de conocimientos internacionales respecto a los usos y las liberaciones de mercurio.

39. El instrumental está diseñado para ser adaptable. Como se menciona en el capítulo 1, la base de datos de factores de emisión, otros factores e información contenida en el instrumental puede revisarse y mejorarse a medida que surjan nuevos datos o se perfeccionen los procesos. Se trata de un

tamiz, no de un registro exhaustivo, y está diseñado para asegurar la identificación positiva de la mayoría de las fuentes significativas. Se ha considerado que la rapidez y facilidad de uso práctico son más importantes para los usuarios del instrumental que la meta inalcanzable de precisión 100%.

40. El instrumental está diseñado para ser aplicable a todos los países, pero tiene la intención particular de brindar apoyo a los países que todavía no cuentan con inventarios exhaustivos de mercurio o que desean pulir y mejorar sus inventarios preliminares. Cada país hará una investigación única de los sectores en función de los recursos de los que disponga y de la prioridad asignada a cada sector. El instrumental contiene un procedimiento que permite un enfoque por pasos a fin de 1) identificar los principales tipos de fuentes en el país o región, 2) identificar subcategorías por cada fuente (tipos de fuentes) y, finalmente (si se desea), 3) desarrollar cálculos cuantitativos de las liberaciones provenientes de las fuentes identificadas o una selección de fuentes organizada por orden de prioridad. Asimismo, cuando se disponga de más información o recursos, podría considerarse conveniente realizar un trabajo adicional sobre fuentes específicas. El uso de factores de emisión por defecto a la par de datos medidos en forma local ayudará a pulir y mejorar el instrumental para su aplicación práctica en otros países.

41. Además, el instrumental incluye enlaces a sitios donde el lector encontrará más información sobre las liberaciones de mercurio, tanto enlaces generales a otras bases de datos nacionales e internacionales, como un sinnúmero de referencias a informes y otros documentos de presentación de datos e información detallada sobre tipos de fuentes de liberaciones de mercurio.

42. A manera de complemento, se ofrece una hoja de cálculo Excel en formato electrónico a fin de facilitar el cálculo de entradas y salidas de los diferentes tipos de fuentes. En la sección 9.2 se proporcionan detalles adicionales respecto a dicha hoja de cálculo. Es posible descargar la hoja desde el sitio web del PNUMA Productos Químicos <http://www.chem.unep.ch/mercury/> o bien solicitarla a través de la dirección postal que se encuentra en la contratapa de este documento.

### 2.3 Limitaciones del presente instrumental

43. Este instrumental fue diseñado para incluir todos los tipos de fuentes conocidas de liberación de mercurio (en mayor o menor detalle dependiendo de los datos disponibles y la importancia potencial de los tipos de fuentes), aunque pueden existir fuentes que no estén consideradas dentro del documento. Si un país identifica fuentes nuevas deberá incluirlas en su inventario nacional y entregar información sobre su existencia, características y relevancia potencial al PNUMA Productos Químicos a fin de añadirlas a la base de datos de mercurio.

44. Los datos presentados en este instrumental fueron tomados principalmente de fuentes de fácil acceso. Podría haber otros datos que enriquecerían (o tal vez modificarían) la caracterización de cada tipo de fuente de liberaciones. En particular, los datos de los países en desarrollo son limitados y podrían resultar muy significativos para tener un cuadro global de las liberaciones de mercurio, ya que las condiciones prevalecientes podrían diferir bastante de la situación en los países desarrollados de donde se tomó la mayoría de los datos. Como ya se mencionó, es posible que el instrumental sea modificado más adelante, lo que permitirá la inclusión de tales datos adicionales.

45. Si bien el uso de datos específicos por fuente siempre es preferible y conduce a los mejores cálculos de liberaciones, durante la preparación de este instrumental se intentó desarrollar factores de entrada y distribución preliminares que pueden resultar útiles a aquellos usuarios que enfrentan dificultades para obtener datos específicos por fuente. Debe señalarse que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental parten de una base de datos limitada y, por ende, hay que considerarlos como valores preliminares sujetos a revisión a medida que crezca la base de datos. Además, los factores por defecto representan juicios de expertos con base únicamente en datos sintetizados y (hasta el momento) no se ha contado con un enfoque cuantitativo sistemático en el desarrollo de los factores (como por ejemplo la concentración ponderada del consumo y la derivación de factores de distribución). Por lo tanto, podría ser conveniente revisar y confirmar en la medida de lo posible los principales datos específicos por fuente para las condiciones

locales/nacionales antes de tomar decisiones de peso en cuanto a la adopción de iniciativas para la mitigación.

46. Como lo describe la sección 2.1 del informe Evaluación Mundial del Mercurio publicado por el PNUMA, la forma (o especies) de las liberaciones de mercurio constituye un importante factor para su destino ambiental y transporte, toxicidad y susceptibilidad al control. Apreciamos el valor de la recopilación y entrega de informes sobre liberaciones de diferentes formas de mercurio (particularmente el mercurio elemental y el mercurio oxidado), y estamos concientes de que algunos países (y otras organizaciones) han realizado esfuerzos en este sentido. Para tener un inventario idóneo y detallado de liberaciones de mercurio es preferible que las cantidades se calculen para cada forma de mercurio. No obstante, hemos determinado que brindar orientación para el cálculo y la presentación de informes sobre la liberación de diferentes especies de mercurio escapa al alcance de este borrador preliminar. Por ello, el presente instrumental no incluye ninguna guía para calcular o elaborar informes sobre las diferentes formas de liberación de mercurio. Sin embargo, las versiones posteriores podrían contener este tipo de información.

## 2.4 Bibliografía recomendada

47. Este instrumental está dedicado a la preparación de un inventario de liberaciones de mercurio. Su objetivo es cubrir todas las vías de liberación (aire, agua, tierra, productos, residuos y desechos) provenientes de actividades industriales y domésticas mediante la identificación de todos los tipos conocidos (o categorías) de fuentes y la descripción de la mayoría de dichas fuentes, así como una metodología para calcular las liberaciones. Otras organizaciones nacionales, regionales e internacionales han realizado trabajos similares. Aunque resulte distinta en alcance y cobertura, es posible encontrar mucha información y experiencia en la documentación relacionada con dichos trabajos. Asimismo, es posible consultar los siguientes documentos a modo de lectura complementaria durante la aplicación del instrumental. A continuación se citan algunos ejemplos con los enlaces electrónicos correspondientes. Además, el lector encontrará referencias a documentos más detallados que abordan temas específicos a lo largo de las diferentes secciones que conforman el instrumental. El capítulo 6 incluye una lista de dichas referencias.

48. **El Protocolo UNECE sobre metales pesados (1998) bajo el Convenio de UNECE sobre Contaminación Transfronteriza de Largo Alcance (LRTAP):** el Protocolo se ocupa del mercurio y de otros dos metales particularmente dañinos: el cadmio y el plomo. Conforme a una de sus obligaciones fundamentales, las Partes tendrán que reducir sus emisiones de estos tres metales por debajo de los niveles registrados en 1990 (o un año alternativo entre 1985 y 1995). El Protocolo apunta a disminuir las emisiones de fuentes industriales, procesos de combustión e incineración de desechos. Deben presentarse informes sobre los niveles de las emisiones empleando, como mínimo, las metodologías estipuladas por el órgano directivo del EMEP, el Programa de Cooperación para la Vigilancia Continua y la Evaluación del Transporte a Gran Distancia de Contaminantes Atmosféricos en Europa. La Guía de Inventarios de Emisiones del EMEP/CORINAIR brinda orientación sobre las metodologías de inventarios atmosféricos.

URL del Protocolo: [http://www.unece.org/env/lrtap/hm\\_h1.htm](http://www.unece.org/env/lrtap/hm_h1.htm)

URL de la EMEP: <http://www.EMEP.int>

URL de la Guía: <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR3/en>

49. **El Convenio sobre la Protección del Medio Marino del Báltico (Convenio de Helsinki):** La Comisión de Helsinki o HELCOM trabaja para proteger el medio marino del Báltico de todas las fuentes de contaminación a través de la cooperación intergubernamental de sus Estados miembros.

URL: <http://www.helcom.fi/>

50. **El Convenio OSPAR para la Protección del Medio Marino:** La Comisión OSPAR desarrolla programas y medidas para identificar, priorizar, monitorear y controlar las emisiones, descargas y pérdidas de sustancias peligrosas que lleguen o pudieran llegar al medio marino del nordeste atlántico. Su objetivo principal es lograr que las concentraciones en el medio marino se reduzcan hasta llegar a valores de fondo en el caso de sustancias naturales y a valores cercanos a cero



en el caso de sustancias sintéticas de manufactura humana.

URL: <http://www.ospar.org/eng/html/welcome.html>

#### 51. **Los Procedimientos de Cuantificación e Información Armonizada de Sustancias Peligrosas (HARP-HAZ):**

Este proyecto, cuya administración corre a cargo de la Autoridad Noruega para el Control de la Contaminación (SFT), promueve y coordina los sistemas de elaboración de informes y procedimientos sobre emisiones al medio ambiente marino para los Estados del Mar del Norte y los Estados miembros del OSPAR a fin de contar con informes transparentes, confiables y comparables que incluyen fuentes significativas, cifras básicas, métodos de cálculo y factores de emisión.

URL de la SFT: <http://www.sft.no/english/>

URL de los HARP-HAZ: <http://www.sft.no/english/harphaz/>

#### 52. **La Directiva IPPC – Prevención y Control Integrales de la Contaminación de la Unión Europea:**

Esta Directiva apunta a minimizar la contaminación de diversas fuentes puntuales a través de la Unión Europea. Se requiere que todas las instalaciones cubiertas en algún Anexo de la Directiva obtengan la autorización (permiso) de las autoridades de los países de la UE. Los permisos deben basarse en el concepto de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD). Asimismo, se ha decidido que los formuladores de las políticas y el público en general necesitan estar mejor informados acerca del monto de contaminación que es responsabilidad de cada instalación. La Directiva estipula el establecimiento de un Registro de Emisiones de Contaminantes en Europa (EPER) para garantizar la disponibilidad de dicha información.

URL de la Directiva IPPC: <http://europa.eu.int/comm/environment/ippc/>

URL de los documentos de referencia MTD: <http://eippcb.jrc.es/>

URL del EPER: <http://europa.eu.int/comm/environment/ippc/eper/index.htm>

#### 53. **Registros de Liberación y Transferencia de Contaminantes (PRTR):**

El Capítulo 19 de la Agenda 21 de la UNCED recomienda la creación de estos registros. Los gobiernos y las organizaciones internacionales relevantes, con la cooperación de la industria deberán [entre otros requerimientos] “Mejorar las bases de datos y los sistemas de información sobre sustancias químicas tóxicas, tales como programas de inventarios de emisiones...” El Grupo de Trabajo de la OCDE sobre Registros de Liberación y Transferencia de Contaminantes ha trabajado intensamente en la elaboración de inventarios, sobre todo en el área de desarrollo de técnicas para el cálculo de liberaciones de diversas sustancias químicas y tipos de fuentes. Destacan los siguientes materiales: 1) el Compendio de Recursos sobre Técnicas para el Cálculo de Liberaciones PRTR, que aporta a los países de la OCDE información básica sobre las técnicas empleadas para cuantificar las liberaciones y transferencias de fuentes puntuales y difusas para un PRTR. Consiste de tres volúmenes: la Parte 1 sintetiza las técnicas para las fuentes puntuales y la Parte 2 para las fuentes difusas; la Parte 3 describe las técnicas empleadas para calcular los montos de contaminantes transferidos al exterior; 2) el Centro de Recursos, que opera como centro de intercambio de información sobre manuales/documentos guía con técnicas para el cálculo de liberaciones y los principales registros de liberación y transferencia de contaminantes desarrollados por los países de la OCDE. Los manuales y documentos incluyen información descriptiva sobre las fuentes de los contaminantes (incluido el mercurio) que son liberados e información sobre los factores de emisión, métodos de balance de masa, cálculos de ingeniería e información de monitoreo.

URL del Centro de Intercambio de Información PRTR: <http://www.chem.unep.ch/prtr/Default.htm>

URL del Registro de Liberaciones y Transferencia de Contaminantes en Norteamérica de la Comisión para la Cooperación Ambiental:

[http://www.cec.org/programs\\_projects/pollutants\\_health/project/index.cfm?projectID=26&varlan=english](http://www.cec.org/programs_projects/pollutants_health/project/index.cfm?projectID=26&varlan=english)

URL de los PRTR con sede en Japón: <http://www.env.go.jp/chemi/prtr/result/>

54. Si se desea realizar consultas adicionales sobre los inventarios de mercurio, se encontrará información en la literatura internacional, el informe Evaluación Mundial del Mercurio elaborado por el PNUMA Productos Químicos (2002) y en los sitios web de organizaciones regionales como las siguientes:

URL de la Comisión Europea: <http://europa.eu.int/comm/environment/chemicals/index.htm>

URL de la Comisión para la Cooperación Económica: <http://www.cec.org/home/>

URL del Plan de Acción del Consejo del Ártico: <http://www.arctic-council.org/>

y diversos gobiernos y agencias nacionales.

URL del “Inventario de liberaciones de mercurio en el Ártico” y la “Evaluación de las liberaciones de mercurio en la Federación Rusa”, ambos publicados en enero de 2005:

[http://www.mst.dk/udgiv/publications/2005/87-7614-515-8/html/default\\_eng.htm](http://www.mst.dk/udgiv/publications/2005/87-7614-515-8/html/default_eng.htm)

55. **Inventario Nacional de Contaminantes de Australia (NPI):** Australia ha desarrollado una base de datos para el cálculo de emisiones en instalaciones industriales y fuentes difusas en todo el país.

URL: <http://www.npi.gov.au/>

56. **Inventario Nacional de Liberación de Contaminantes de Canadá (NPRI):** Environment Canadá ha desarrollado una base de datos con información sobre liberaciones anuales al aire, el agua y la tierra, y sobre transferencias externas para disposición o reciclaje.

URL: [http://www.ec.gc.ca/pdb/npri/NPRI\\_home\\_e.cfm](http://www.ec.gc.ca/pdb/npri/NPRI_home_e.cfm)

57. **Inventario de Liberaciones Tóxicas de Estados Unidos de América (TRI):** Se trata de una base de datos pública de la EPA. La EPA prepara anualmente un TRI con la información más precisa sobre emisiones y liberaciones de sustancias químicas tóxicas y otras actividades de manejo de desechos por parte de ciertos grupos industriales e instalaciones federales. Asimismo, la EPA tiene una página web sobre mercurio con información acerca de otras de sus actividades en torno al mercurio.

URL del TRI: <http://www.epa.gov/triinter/>

URL de la página web sobre mercurio de la US EPA: <http://www.epa.gov/mercury/>

58. **Inventario Nacional de Emisiones (NEI):** Se trata de una base de datos pública de la EPA. Además, la EPA prepara una base de datos nacionales sobre emisiones al aire (NEI) con información proveniente de múltiples agencias estatales y locales, y de industrias con acceso a datos sobre las emisiones de instalaciones estadounidenses.

URL del NEI: <http://www.epa.gov/ttn/chief/net/>

59. **Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos – Centro de Intercambio de Información sobre Inventarios y Factores de Emisión:** Esta serie de informes caracteriza las categorías de las fuentes para las que se han identificado diversas emisiones de sustancias tóxicas. Hay un documento específico para mercurio y compuestos de mercurio titulado “Localizar y calcular las emisiones al aire de fuentes de mercurio y compuestos de mercurio”. Informe EPA-454/R-97-012, Research Triangle Park, NC, USA. EPA.

URL: <http://www.epa.gov/ttn/chief/le/index.html>

60. **Informe del Grupo de Trabajo sobre Mercurio de Nueva Jersey, Volumen III – Fuentes de mercurio en Nueva Jersey:** Este informe relata la forma en que el estado de Nueva Jersey en EE.UU. ha logrado reducir notablemente las liberaciones de mercurio al medio ambiente en los últimos diez años gracias a una combinación de reducción de fuentes y estrictas medidas de control de la contaminación. Los logros incluyen la reducción de emisiones provenientes de desechos sólidos municipales y de incineradores de residuos médicos.

URL: <http://www.state.nj.us/dep/dsr/Vol3-chapter1.pdf>

### 3 Fuentes antropogénicas de liberación de mercurio

61. Las liberaciones de mercurio a la biosfera pueden agruparse en cuatro categorías (PNUMA, 2002):

- Fuentes naturales – liberaciones debidas a la movilización natural de mercurio que se encuentra en la corteza terrestre, por ejemplo debido a la actividad volcánica y al desgaste de las rocas;
- Liberaciones antropogénicas (vinculadas a las actividades humanas) actuales debidas a la movilización de impurezas de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles (particularmente carbón y, en menor medida, gas y petróleo) y otros minerales extraídos, tratados y reciclados;
- Liberaciones antropogénicas actuales como consecuencia del uso deliberado de mercurio en productos y procesos, debido a liberaciones durante la manufactura, derrames, disposición o incineración de productos usados u otras emisiones;
- Removilización de liberaciones antropogénicas de mercurio ocurridas en el pasado y depositadas en suelos, sedimentos, masas de agua, rellenos sanitarios y depósitos de desechos/relaves.

62. La figura 3.1 ilustra la clasificación de las liberaciones y los principales mecanismos posibles de control.

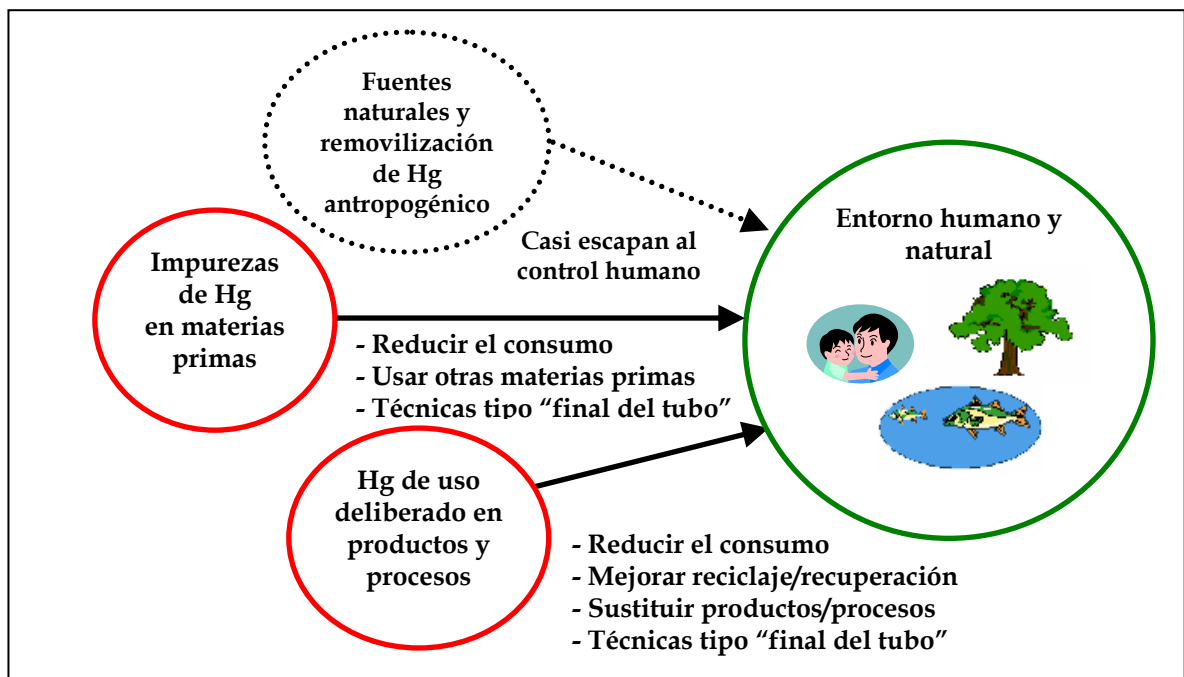


Figura 3-1 Principales fuentes liberación de mercurio (Hg) al medio ambiente y principales opciones de control

63. Este instrumental tiene por objetivo orientar a los usuarios en la identificación y cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio que pueden reducirse con la adopción de diversas medidas reglamentarias u otros enfoques. Por ende, el instrumental se concentra en las liberaciones antropogénicas actuales producto de la movilización de impurezas de mercurio, del uso deliberado de mercurio en productos y procesos, y de depósitos realizados por los seres humanos, como los rellenos sanitarios, los sitios contaminados y los depósitos de relaves. Estas formas antropogénicas de liberación constituyen el eje central de la clasificación de las fuentes dentro del instrumental.

64. Este instrumental no incluye fuentes naturales ni la removilización de mercurio proveniente de deposiciones atmosféricas previas, ya que las iniciativas para reducir las liberaciones son irrelevantes

para dichas fuentes. Sin embargo, sí influyen en los impactos adversos del mercurio sobre la salud humana y el medio ambiente y, en algunos casos, merecerán atención especial. La Evaluación Mundial del Mercurio (PNUMA, 2002) ofrece más información sobre las fuentes naturales y la removilización del mercurio.

### 3.1 Procesos de emisión al medio ambiente

#### El mercurio persiste en el medio ambiente

65. Un hecho fundamental para entender las vías del mercurio en la sociedad y el medio ambiente es que es un elemento y, aunque su forma puede cambiar a lo largo de su ciclo de vida, no puede descomponerse ni degradarse en sustancias inocuas. Esto significa que una vez que el mercurio ha empezado a circular en la sociedad/biosfera debido a alguna actividad humana no “desaparece” en intervalos temporales semejantes al lapso de una vida humana y que requiere de manejo (almacenaje o disposición) en el largo plazo.

#### Liberaciones a través del “ciclo de vida” de un producto o proceso

66. El concepto de ciclo de vida puede ser útil para ilustrar la naturaleza de los flujos de mercurio en la sociedad y sus liberaciones al medio ambiente. Este concepto constituye un enfoque “de la cuna a la tumba” en el que se reconoce que todas las etapas en la “vida” de un producto o proceso (extracción y proceso de materias primas, manufactura, transporte y distribución, uso/reutilización, reciclaje y disposición de desechos) pueden causar impactos al medio ambiente. El enfoque del ciclo de vida puede aplicarse durante la recopilación de datos y el desarrollo de un inventario, y para clasificar las cargas ambientales de productos, procesos y servicios.

67. El diagrama a continuación desglosa un inventario de ciclo de vida de un producto o proceso en entradas y salidas de mercurio en los materiales y las liberaciones al ambiente.

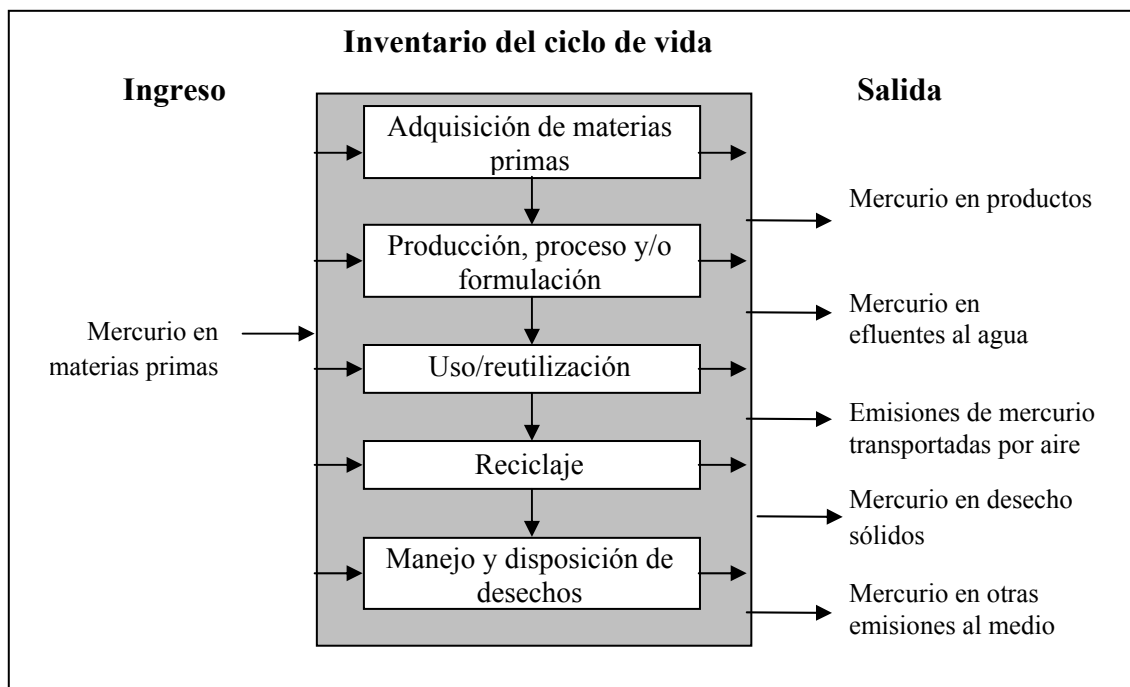


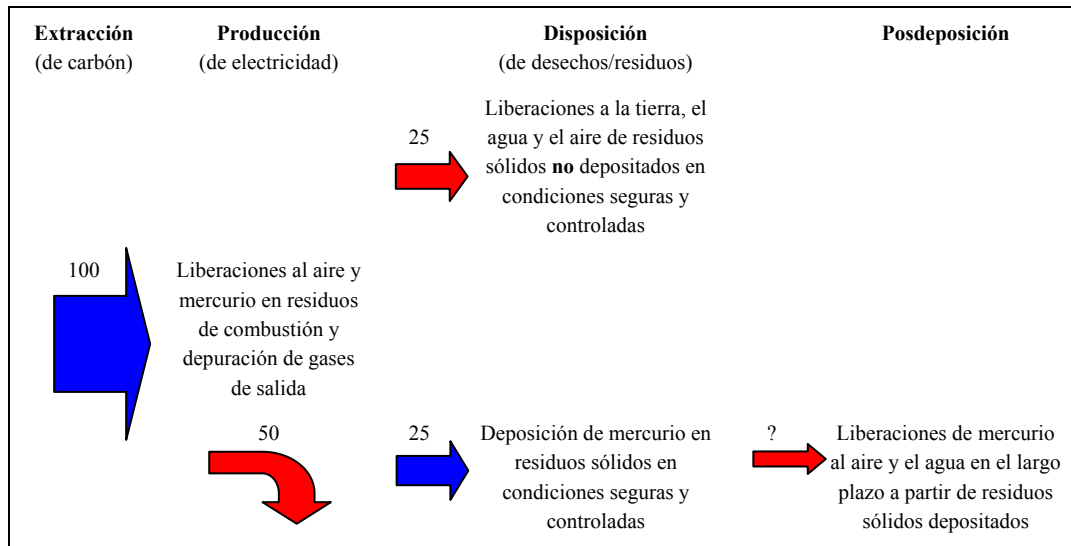
Figura 3-2 Ilustración de un inventario del ciclo de vida desglosado en entradas y salidas de materiales; incluye liberaciones al ambiente

68. Las liberaciones de mercurio son posibles en todas las etapas del ciclo de vida de un producto o proceso que lo contenga. Ya que el mercurio es un elemento y, por lo tanto, no se forma ni degrada durante su propio ciclo de vida (aunque su forma puede cambiar), las entradas totales de mercurio serán iguales a las salidas totales; es decir, las liberaciones de mercurio debidas a determinada actividad humana pueden comprenderse como la distribución consecutiva de la entrada original de

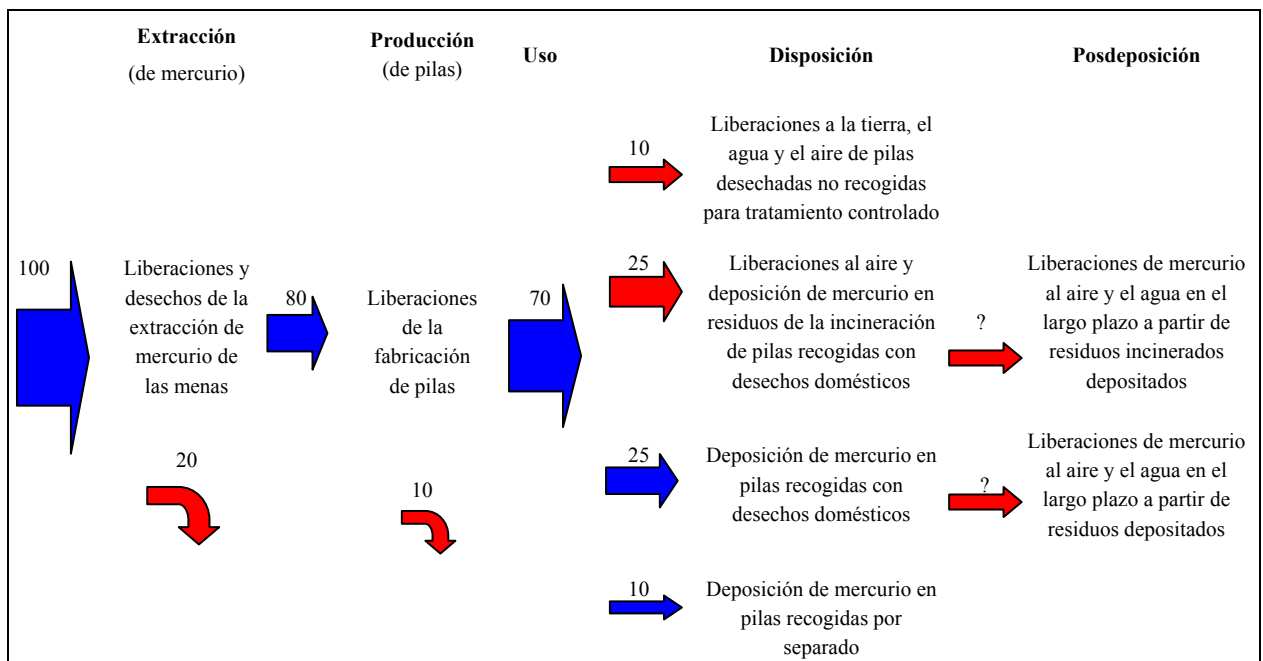
mercurio a diversos medios o vías de liberación durante diversas etapas del ciclo de vida del producto o proceso en cuestión.

69. La figura 3.3 presenta ejemplos del ciclo de vida del mercurio en un proceso y un producto, así como las liberaciones que tienen lugar a lo largo del ciclo de vida. La figura sólo muestra aquellas fases del ciclo de vida pertinentes a la liberación de mercurio.

**a) El ciclo de vida del mercurio en la producción de electricidad a partir de la combustión de carbón.**



**b) El ciclo de vida del mercurio en pilas de óxido de mercurio.**



Notas: Los números indican el porcentaje relativo de la entrada original de mercurio (contenido en carbón y mena respectivamente) que sigue las diferentes vías de liberación en un ejemplo ficticio, pero realista. La flecha roja indica la ocurrencia de liberaciones directas; la flecha azul indica otros flujos.

Figura 3-3: Ilustración del ciclo de vida del mercurio en a) un proceso (producción de electricidad a partir de la combustión de carbón) y b) un producto (pilas de óxido de mercurio) (ejemplo hipotético con fines ilustrativos)

70. Para efectos prácticos, las liberaciones provenientes de la extracción primaria de mercurio y del tratamiento de desechos (domésticos) generales y aguas residuales se describen y evalúan de manera separada en este instrumental; sin embargo, la descripción de fuentes de liberación de mercurio señala los importantes vínculos entre estas etapas y las etapas intermedias de producción y uso.

## 3.2 Ejemplos de liberaciones de mercurio a diferentes vías

### Liberaciones a los medios ambientales

71. La figura 3.4 presenta ejemplos de liberaciones antropogénicas de mercurio a los diferentes medios ambientales (aquí denominados vías, pero frecuentemente también llamados compartimentos o rutas).

#### Ejemplos de liberaciones antropogénicas de mercurio a los medios ambientales

Destinos de las liberaciones al ambiente y tipos de liberaciones en cada medio receptor:

- **Aire – la atmósfera:** Fuentes puntuales y difusas desde las cuales se extiende el mercurio de manera local, regional y hemisférica/mundial con las masas de aire.
  - Emisiones de las principales fuentes puntuales, como las centrales de energía a carbón, la extracción de metales, la incineración de desechos, las instalaciones de cloroálcali, la fundición secundaria/reciclaje de desperdicio, la producción de cemento, la producción industrial de químicos inorgánicos y fuentes difusas como la construcción de vivienda (combustión de combustibles fósiles);
  - Emisiones de la extracción artesanal de oro;
  - Emisiones de la cremación, particularmente debido a amalgamas dentales;
  - Emisiones de pinturas que contienen mercurio;
  - Liberaciones difusas de productos desechados no recogidos separadamente (lampas fluorescentes, pilas, termómetros, interruptores de mercurio, dientes con amalgamas, etc.);
  - Evaporación de descargas previas a la tierra y el agua;
  - Evaporación de mercurio dispuesto en rellenos sanitarios.
- **Agua – medio acuático:** Fuentes puntuales y difusas desde las cuales se extiende el mercurio hasta los medios marinos (océanos) y las aguas dulces (ríos, lagos, etc.).
  - Descargas directas de las industrias y las viviendas a los medios acuáticos;
  - Emisiones de la extracción artesanal de oro;
  - Descargas indirectas vía sistemas de tratamiento de aguas residuales;
  - Escorrentía superficial y en forma de lixiviados a partir de suelos y rellenos sanitarios contaminados con mercurio sin membrana de recolección de lixiviado y sistema de limpieza de agua en forma de lixiviados;
  - Deslave de mercurio previamente aplicado o depositado en tierra.
- **Tierra/suelos – medio terrestre:** Superficies y suelos en general, agua subterránea.
  - Liberaciones difusas de productos desechados no recogidos (pilas, termómetros, interruptores de mercurio, dientes con amalgamas, etc.);
  - Liberaciones locales de las industrias: materiales de obra y almacenaje de desechos, tubería rota/no usada, equipos y material de construcción contaminados con mercurio;
  - Esparcimiento de lodos cloacales con contenido de mercurio en tierras agrícolas (fertilizante);
  - Aplicación de pesticidas con compuestos de mercurio en los suelos, las semillas o las plantas de semillero;

- Uso de residuos sólidos de la incineración de desechos y la combustión de carbón para la construcción (escoria/cenizas de fondo y cenizas volantes);
- Entierro de personas con amalgamas dentales.

Figura 3-4 Ejemplos de liberaciones antropogénicas de mercurio a los diferentes medios ambientales

### Flujos/liberaciones de mercurio a otras vías

72. Además de las vías de liberación ya mencionadas (aire, agua, tierra), el presente instrumental trabaja con las vías denominadas “productos”, “desechos generales” y “tratamiento de desechos por sector” a efectos de la preparación de un inventario, aunque los medios receptores finales sean, a la larga, tierra, aire y agua. La figura 3-5 presenta algunos ejemplos de flujos/liberaciones de mercurio en “productos”, “desechos generales” y “desechos por sector”.

#### Ejemplos de flujos/liberaciones de mercurio a las vías intermedias: “productos”, “desechos generales” y “tratamiento de desechos por sector”

- **Productos: Productos que deliberada o involuntariamente contienen mercurio;**  
Productos que aprovechan las características del mercurio deliberadamente o subproductos con contenido de mercurio, por ejemplo debido al uso deliberado del metal (concentraciones traza) después del producto o porque el mercurio es una impureza en materiales recuperados.
  - Uso deliberado en productos, pesticidas, etc.
  - Tablarroca fabricada a partir de residuos sólidos de depuración de gases de salida en centrales de energía a carbón;
  - Ácido sulfúrico a partir de la desulfuración de los gases de salida (depuración de gases de salida) en plantas de metales no ferrosos;
  - Cloro e hidróxido de sodio producidos con tecnología cloroálcali a base de mercurio.
- **Desechos generales:** Desechos domésticos e institucionales comunes (la mayor parte de los desechos que genera la población) sometidos a tratamiento general, como la incineración o deposición bajo vigilancia.
  - Productos de consumo con contenido deliberado de mercurio, como pilas, termómetros, dientes humanos con amalgamas, dispositivos electrónicos con interruptores de acero, luces fluorescentes, etc. que no fueron separados/tratados con sistemas especiales;
  - Desechos normales de gran volumen con rastros menores de mercurio.
- **Tratamiento de desechos por sector:** Desechos industriales y postconsumo que se reúnen y tratan por separado.
  - Desechos industriales peligrosos con alto contenido de mercurio, por lo general debido al uso deliberado del metal, que pueden estar almacenados en contenedores sellados dentro de depósitos con protección especial o, en algunos casos, haber sido incinerados (debido al contenido de otras sustancias combustibles);
  - Desechos peligrosos de operaciones de fundición secundaria/reciclaje de desperdicio;
  - Desechos postconsumo peligrosos con contenido de mercurio, básicamente pilas separadas, termómetros, interruptores de mercurio, dientes con amalgamas, etc.;
  - Rocas/residuos de gran volumen de la extracción de metales o minerales;
  - Residuos sólidos de la incineración de desechos (escoria/cenizas de fondo y cenizas volantes)

Figura 3-5 Ejemplos de flujos/liberaciones de mercurio hacia las vías intermedias de liberación antropogénica de mercurio a los diferentes medios: “productos”, “desechos generales” y “tratamiento de desechos por sector”.

73. Como se ilustra en la figura 3.3, la disposición de desechos constituye una de las principales vías de liberación/emisión en el ciclo de vida de los productos y materiales que contienen mercurio. El tratamiento de desechos y de aguas residuales son ejemplos de fuentes de liberación de mercurio que

exigen la evaluación del origen del metal para considerar adecuadamente las posibilidades de lograr reducciones rentables. Aunque estos sistemas se aplican para aminorar los impactos ambientales de diversos contaminantes, en términos generales no logran la eliminación total del mercurio que se encuentra en los desechos debido a las características especiales de este metal y la forma en que se combinan con las tecnologías y los procedimientos (tal como se describen en las secciones 5.8 - 5.10, dedicadas a los diferentes sistemas para el tratamiento de desechos). En el caso del mercurio, la reducción o eliminación antes de que se convierta en desecho (en los productos y procesos) suele considerarse como una opción rentable para reducir las liberaciones.

74. Si desea más información sobre las vías de liberación, consulte la descripción del enfoque de inventario del instrumental que se encuentra en la sección 4.4.4. En el capítulo 6 del informe Evaluación Mundial del Mercurio (PNUMA, 2002) encontrará ejemplos de la importancia relativa de las liberaciones de mercurio a partir de diferentes fuentes en varios países y entre la movilización de impurezas y el uso deliberado del mercurio.



## 4 Pasos para la elaboración de un inventario de mercurio

### 4.1 Introducción al concepto de inventario

75. El instrumental contiene un procedimiento normalizado de cuatro pasos para preparar inventarios consistentes y comparables, como se muestra en la figura \*4.1.

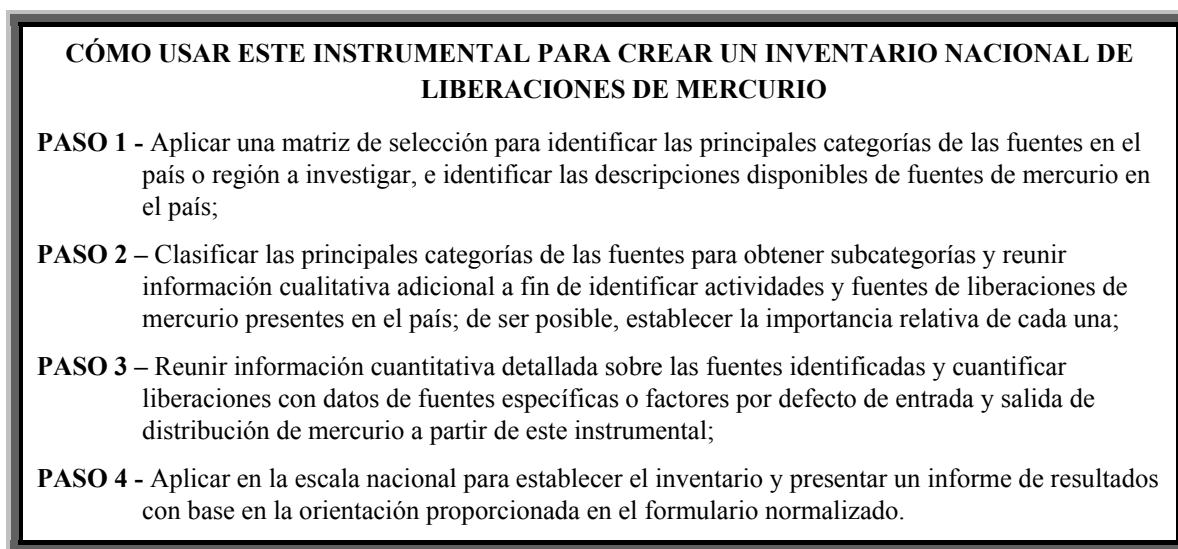


Figura 4-1 *El enfoque de cuatro pasos empleado para crear un inventario nacional de liberaciones de mercurio con este instrumental*

76. Como primer paso, se aplica una matriz gruesa de selección para identificar las principales categorías de fuentes de mercurio en el país. Del mismo modo, se identifican y recopilan los inventarios parciales o las descripciones de fuentes de mercurio ya existentes en el país (o región).

77. En el segundo paso, se hace una clasificación adicional de las principales fuentes para crear subcategorías e identificar cada actividad capaz de liberar mercurio. Si sólo se desea llegar a una identificación cualitativa de los tipos de fuentes presentes en el país o región en cuestión, es posible omitir el paso tres (cuantificación) y presentar un informe de datos cualitativos a modo de lista anotada de las principales categorías y subcategorías de fuentes encontradas en el país. Sin embargo, a fin de contar con un mejor fundamento para la evaluación preliminar y el establecimiento de prioridades de medidas futuras para ocuparse de las liberaciones de mercurio, es altamente recomendable incluir, por lo menos, información que indique la magnitud relativa de la subcategoría como fuente de liberaciones de mercurio, tal como se describe en el paso 3.

78. El inventario cuantitativo se elabora en el tercer paso. En este punto, cabe evaluar la pertinencia de crear un inventario cuantitativo completo desde el principio o si, como paso inicial, se desea contra con un inventario provisional para apoyar el establecimiento de prioridades futuras e iniciar la comunicación entre los participantes/revisores del inventario. El inventario preliminar puede presentar las subcategorías identificadas con la indicación de su importancia relativa. Es posible tener una impresión inicial de la importancia relativa (magnitud de las liberaciones de mercurio) de las subcategorías identificadas si se reúnen y aplican datos respecto al volumen de actividad (ver a continuación) y/o información relevante, como el número y tamaño aproximados de las instalaciones en determinada industria, el número aproximado de personas que participan en determinada actividad, como extracción de oro, etc. Obtener algo de información sobre los principales usos deliberados del mercurio dentro del país será particularmente útil para preparar un inventario provisional. El informe provisional puede elaborarse a partir del esquema que aparece en la sección 4.5.3.

79. En el caso de un inventario cuantitativo completo, se reúnen datos sobre el volumen de actividad ("tasas de actividad") e información específica por proceso a fin de calcular las liberaciones de mercurio a partir de las fuentes identificadas en el país (o región) en cuestión. Las liberaciones se calculan *vía* la ecuación y los procedimientos que aparecen en la sección 4.4 y los datos del tipo de fuente detallados en el capítulo 5.

80. El cuarto y último paso consiste en la compilación del inventario normalizado de mercurio a partir de los resultados obtenidos en los pasos 1, 2 y 3. La sección 4.5.2 incluye un formato de presentación normalizado a fin de asegurar la consideración de todas las fuentes conocidas (aun cuando no sea posible cuantificarlas), la evidencia de lagunas de datos y la transparencia y posibilidad de comparar los inventarios.

81. La figura 4.2 muestra un diagrama de flujo con los detalles del proceso aquí descrito.

### 4.1.1 Enfoque del ciclo de vida

82. Como se ilustra en la figura 3.2, las liberaciones de mercurio pueden ocurrir en cualquiera de las etapas del ciclo de vida de un producto o proceso que contiene o incluye esta sustancia. Ya que el mercurio es un elemento, no se forma ni se degrada durante su ciclo de vida (aunque puede cambiar su forma), las liberaciones derivadas de cualquier actividad humana pueden pensarse como la distribución consecutiva de una entrada inicial de mercurio a diversos medios o vías durante las diversas etapas del ciclo de vida del producto o proceso en cuestión. Por lo tanto, este instrumental trabaja con los parámetros "**entrada de mercurio**" y "**distribución de salidas**" para cada una de las actividades que conforman la cadena del ciclo de vida.

83. Este instrumental organiza el enfoque del inventario a partir de los productos y procesos. Se describen y evalúan las liberaciones de cada producto o servicio para las etapas del ciclo de vida con potencial de liberación de mercurio (aun cuando las etapas en el ciclo de vida puedan considerarse como fuentes independientes de liberación en términos de tiempo y espacio). Éste es el enfoque dominante en la mayoría de los inventarios nacionales de flujos y liberaciones de mercurio más avanzados, y casi siempre se le denomina "evaluación (o análisis) de flujo de sustancias".

84. La figura 3.3 muestra ejemplos del ciclo de vida de un proceso y un producto que contienen mercurio, y de las liberaciones que tienen lugar a lo largo del ciclo de vida. La figura sólo incluye aquellas etapas del ciclo de vida que son relevantes en términos de la liberación de mercurio.

85. Como puede apreciarse a partir de los ejemplos en dicha figura, no todas las etapas del ciclo de vida tienen el mismo potencial de liberación de mercurio. La etapa del ciclo de vida con mayor propensión a la liberación depende mucho del tipo de materiales, procesos y productos en cuestión. El presente instrumental se concentra en las principales liberaciones que pueden ocurrir a lo largo de los ciclos de vida (véanse las secciones 4.2 y 4.3), y el capítulo 5 describe detalladamente en qué etapas del ciclo de vida de las diferentes fuentes hay mayor propensión a la liberación significativa de emisiones, además de datos sobre cuánto de la cantidad inicial de mercurio se libera en cada etapa.

86. Para efectos prácticos, las liberaciones provenientes de la extracción primaria de mercurio y del tratamiento de desechos (domésticos) generales y aguas residuales se describen y evalúan de manera separada en este instrumental; sin embargo, la descripción de fuentes de liberación de mercurio señala los importantes vínculos entre estas etapas y las etapas intermedias de producción y uso.

### Entradas de mercurio

87. La literatura disponible rara vez describe completamente el ciclo de vida de los productos o procesos que contienen o incluyen mercurio, pues hay ausencia de datos cuantitativos o éstos son muy pobres tratándose de etapas específicas del ciclo de vida. Por lo tanto, es común que las entradas de mercurio se deriven de los tipos de datos más fácilmente accesibles (como puede verse en las descripciones de las fuentes de mercurio en el capítulo 5). Por citar un ejemplo, las entradas en la

producción de pilas pueden derivarse de concentraciones de mercurio relativamente bien documentadas en las pilas fabricadas en combinación con datos sobre el tonelaje de pilas fabricadas, no de las entradas reales de este metal en el proceso de producción de las pilas.

88. Las secciones relativas a la descripción de fuentes que aparecen en el capítulo 5 incluyen ejemplos de entradas de mercurio para cada tipo de fuente de liberaciones en la medida en que fue posible obtener datos durante el proceso de elaboración del presente instrumental.

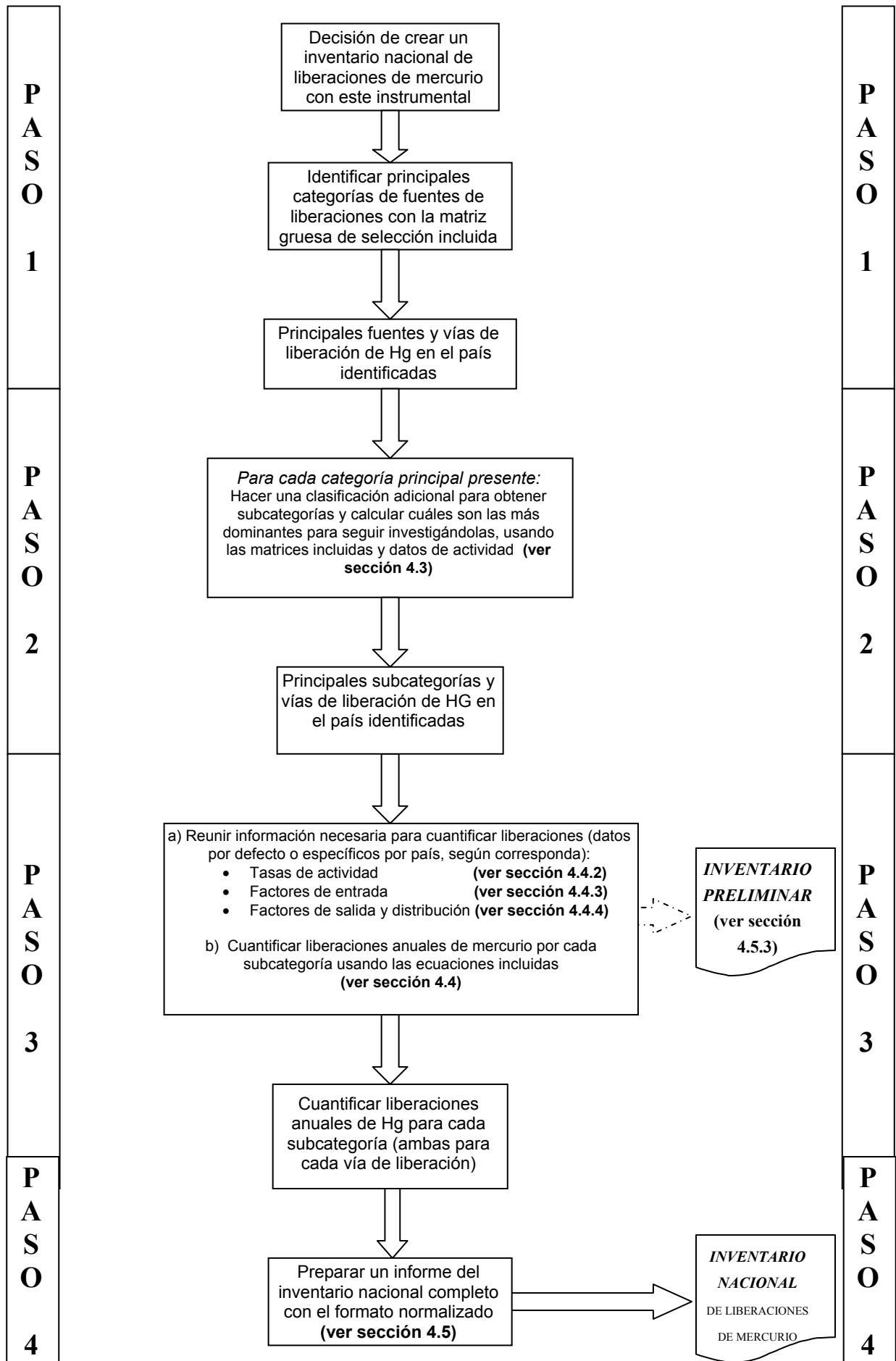


Figura 4-2 Diagrama de flujo que detalla el enfoque de cuatro pasos para crear un inventario nacional de liberaciones de mercurio usando el instrumental

89. Las secciones del capítulo 5 de este instrumental dedicadas a la descripción de las fuentes incluyen factores por defecto de entradas para algunas fuentes.

90. Debe destacarse que, en el mundo ideal, el cálculo de liberaciones de mercurio provenientes de las diversas fuentes debe basarse en datos reales, específicos para cada uno de los productos, instalaciones industriales o actividades en consideración. Sin embargo, la realidad muestra que ése rara vez es el caso y que generar ese tipo de información suele exigir demasiado tiempo y recursos. Aunque el uso de datos específicos por fuente siempre será preferible y coadyuvará a la obtención de los mejores cálculos de liberaciones, se ha hecho un esfuerzo durante la preparación de este instrumental para desarrollar factores de entrada y distribución por defecto preliminares que pueden ser útiles a aquellos lectores que enfrenten dificultades al tratar de obtener datos específicos por fuente.

91. Debe señalarse que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental parten de una base de datos limitada y, por ende, hay que considerarlos como valores preliminares sujetos a revisión a medida que crezca la base de datos. Además, los factores por defecto representan juicios de expertos con base únicamente en datos sintetizados y (hasta el momento) no se ha contado con un enfoque cuantitativo sistemático en el desarrollo de los factores (como por ejemplo la concentración ponderada del consumo y la derivación de factores de distribución).

92. Debido a las incertidumbres que entraña el uso de datos inespecíficos, sería conveniente calcular y presentar informes de intervalos para las entradas y salidas de mercurio al usar factores por defecto. El principal objetivo del uso de dichos factores es obtener una impresión inicial y determinar si la subcategoría representa una fuente de liberación de mercurio significativa en el país. Por lo general, será necesario afinar los cálculos de las liberaciones (obtenidos con factores por defecto) antes de adoptar cualquier medida trascendental a partir de este tipo de datos.

### **Factores de distribución de las salidas**

93. Las secciones dedicadas a la descripción de fuentes que aparecen en el capítulo 5 incluyen ejemplos de entradas de mercurio para cada tipo de fuente de liberaciones (en la medida en que fue posible obtener datos) como la porción relativa de las **entradas** que siguen cada vía de salida específica (o vía de liberación), aquí designadas como factores de distribución de las emisiones. Las vías de emisión son:

- Liberaciones directas a la atmósfera (aire);
- Liberaciones directas a los medios acuáticos (agua);
- Liberaciones directas a la tierra (medios terrestres, aguas superficiales incluidas);
- Flujos de mercurio como impurezas en productos comercializados (por ejemplo, tablarroca fabricada a partir de residuos sólidos de depuración de gases de salida en centrales de energía a carbón);
- Flujos de mercurio al sistema público de tratamiento de aguas residuales;
- Flujos de mercurio al sistema general de tratamiento de aguas residuales;
- Flujos de mercurio a sistemas de sectores específicos de tratamiento o disposición de aguas.

Los principios aplicados en esta “vía de salida” o emisiones varían de un sector a otro; por ejemplo, pueden implicar recolección y reciclaje especiales por separado, la disposición especial en circunstancias de seguridad en caso de altas concentraciones de mercurio en los desperdicios o el uso de residuos de menor concentración en la construcción de caminos u otras actividades similares. Para diferenciar tales formas de disposición de las “liberaciones directas a la tierra” que carecen de control, las primeras deben distinguirse por un elemento de valoración con base en la evaluación de riesgos o la aceptación informada por parte de las

autoridades. La información sobre el tratamiento o la disposición que efectivamente tienen lugar siempre debe incluirse en los informes de los inventarios.

94. Debe señalarse que este instrumental considera la disposición o incineración no controlada, informal o ilegal de desechos en espacios de manufactura u otros lugares en donde no se evalúe la retención de mercurio como liberaciones directas a la tierra, la atmósfera y el agua según corresponda. Asimismo, debe destacarse que las secciones dedicadas a la descripción de las fuentes (Capítulo 5) no hacen distinción alguna entre la liberación directa al agua y las liberaciones al sistema de aguas residuales. Esto obedece a que la distribución entre ambas vías es demasiado variable de un país a otro y depende de las condiciones locales, lo que dificulta enunciar cualquier generalidad desde una perspectiva integral.

95. El instrumental no considera a los productos y materiales comercializados con contenido deliberado de mercurio como una vía de liberación. Sin embargo, las secciones del capítulo 5 dedicadas a la descripción de fuentes abordan ampliamente el tema de las cantidades de mercurio comercializado dentro de esos productos y materiales, y éstas también deben cuantificarse en el inventario a fin de calcular las liberaciones de mercurio al medio ambiente. Algunos de esos productos y materiales son los termómetros de mercurio, las pilas y el mercurio metálico.

96. Las secciones del capítulo 5 de este instrumental dedicadas a la descripción de las fuentes incluyen factores por defecto de entradas para algunas fuentes. La sección anterior sobre entradas de mercurio contiene comentarios sobre el uso de estos factores por defecto.

## 4.2 Paso 1: matriz de selección; identificación de las principales categorías de fuentes

97. El primer paso en la elaboración de un inventario normalizado de fuentes de mercurio es la identificación de las principales categorías de fuentes en el país (o región) objeto de la investigación, así como las principales rutas de liberación para cada categoría. La matriz gruesa de selección que aparece en la tabla 4-1 facilita la evaluación preliminar de actividades (industrias, usos de productos, actividades domésticas, *etc.*), con potencial de liberar mercurio a una o más de las vías descritas. Debe confirmarse la presencia o ausencia de la actividad en el país o región para cada categoría principal de fuentes.

98. Como elemento adicional a esta labor inicial (y para su uso posterior) habrán de identificarse los inventarios parciales o las descripciones de fuentes de mercurio que hubiera en el país.

Tabla 4-1 Matriz de selección – Principales categorías de fuentes y vías de liberación

Capítulo	Principal categoría de fuente	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desecho/residuo
5.1	Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía	X	X	x	x	X
5.2	Producción primaria (virgen) de metales	X	X	X	X	X
5.3	Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio	X	x	x	x	x
5.4	Uso deliberado de mercurio en procesos industriales	X	X	X	X	X
5.5	Productos de consumo con uso deliberado de mercurio	X	X	X	X	X
5.6	Otros usos deliberados en productos/procesos	X	X	X	X	X
5.7	Producción de metales reciclados (producción “secundaria” de metales)	X	X	X	X	X

Capítulo	Principal categoría de fuente	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desecho/residuo
5.8	Incineración de desechos	X	X	X	x	X
5.9	Disposición de desechos/rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales	X	X	X		X
5.10	Crematorios y cementerios	X		X		x
5.11	Identificación de puntos calientes potenciales	Probablemente sólo registro, a ser seguido por una evaluación local específica				

Notas: X – Vías de liberación que se espera sean predominantes en la categoría principal;

x – Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

99. Estas principales categorías de fuentes de mercurio son lo suficientemente amplias para abarcar a una gran variedad de industrias, procesos y/o actividades con potencial de causar liberaciones de mercurio. Cada una de las categorías principales está estructurada para tener características comunes y una complejidad manejable. La “X” mayúscula en la matriz de selección denota la vía de liberación que se espera sea predominante en esa categoría principal, y la “x” minúscula muestra otras vías de liberación que deben de tenerse en consideración. Si bien algunas de las principales categorías fuente podrían contribuir más que otras al inventario nacional de liberaciones de mercurio, la distinción se omite deliberadamente en este instrumental, ya que se espera que ese tipo de relaciones difiera considerablemente en función de las condiciones nacionales o regionales.

100. Debe destacarse que, en pro de la simplificación, las liberaciones al agua y a los sistemas de tratamiento de aguas residuales se consideran una sola categoría dentro de la tabla. Lo mismo sucede con el tratamiento de desechos generales y el tratamiento de desechos específicos.

101. La matriz gruesa de selección brinda orientación acerca de las áreas en las que se requerirá de información y puede influir en la composición de un equipo para recopilar información inicial acerca de posibles fuentes de mercurio en el país. La matriz de selección constituye el punto de partida de una estrategia para buscar la asesoría y experiencia necesarias para emprender la recopilación de información más detallada y la evaluación de los datos.

102. La participación de expertos con conocimientos exhaustivos de los sectores en los que puede haber liberación de mercurio en el país o región es invaluable para la elaboración de un inventario de mercurio. Debe enfatizarse la importancia de identificar a estas personas, ya sean los propios expertos del ramo, provengan de instituciones de investigación, de autoridades ambientales locales o nacionales, sean consultores, etc. Es posible que estos expertos tengan conocimientos de gran relevancia que aún no han sido comentados ni publicados.

### 4.3 Paso 2: identificación de subcategorías de fuentes

103. El segundo paso consiste en la identificación de procesos o subcategorías dentro de cada una de las categorías principales que se encuentran en el país o región en cuestión. Cada una de las diez principales categorías de fuentes está dividida en una serie de subcategorías descritas en las siguientes subsecciones. La lista de subcategorías constituye la matriz resumida del inventario de mercurio que se va a compilar como se describe en la sección 4.5).

104. Debe hacerse una investigación para establecer la presencia o ausencia de cada actividad listada en cada subcategoría dentro del país o región. Los datos de fácil acceso son sumamente valiosos en esta etapa. Contar con información estadística centralizada puede resultar muy adecuado. Cualquier subcategoría que se sepa con seguridad que no existe en el país o región podrá eliminarse del proceso de investigación. Sin embargo, el inventario debe señalar la inexistencia de dicho proceso.

105. En la subsección siguiente se desglosa la principal categoría de fuente en diversas subcategorías y se proporcionan los detalles pertinentes a cada subcategoría. Además, se incluye una

tabla con las principales vías de liberación de cada subcategoría. Las columnas 2 a 6 de la tabla señalan las vías con mayor propensión a la liberación de montos importantes de mercurio. La “X” mayúscula denota la vía de liberación que se espera sea predominante en esa categoría principal, y la “x” minúscula muestra otras vías de liberación que deben de tenerse en consideración dependiendo de cada fuente y de las condiciones nacionales. La columna de la derecha indica si se considera más relevante aplicar un enfoque de fuentes puntuales (FP) o un enfoque general. La sección 4.4.1 incluye una explicación detallada sobre el enfoque de fuente puntual y el enfoque general en la elaboración de inventarios.

106. En pro de la simplificación, las liberaciones al agua y a los sistemas de tratamiento de aguas residuales se consideran una sola categoría dentro de la tabla 4-1. Lo mismo sucede con el tratamiento de desechos generales y el tratamiento de desechos específicos.

### 4.3.1 Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía

107. Esta categoría incluye las siguientes subcategorías:

- **Combustión de carbón en grandes centrales de energía**, con capacidad térmica en calderas superior a los 300MW;
- **Otras formas de combustión de carbón**, por ejemplo, en pequeñas plantas de combustión, calefacción doméstica y otros usos de carbón;
- **Extracción, refinación y uso del aceite mineral**, es decir, todas las liberaciones de mercurio en el ciclo de vida del aceite mineral, como calefacción, producción de energía, uso en la transportación, síntesis de productos químicos y polímeros, producción de carbón negro, etc.;
- **Extracción, refinación y uso de gas natural**, es decir, todas las liberaciones de mercurio en el ciclo de vida del gas natural, como calefacción, producción de energía, uso en la transportación, síntesis de productos químicos y polímeros, producción de carbón negro, etc.;
- **Extracción y uso de otros combustibles fósiles**, como la pizarra petrolífera, la turba, etc.;
- **Energía obtenida por la quema de biomasa y producción de calor**, con madera, paja, etc.;
- **Producción de energía geotérmica.**

108. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

Tabla 4-2 *Extracción y uso de fuentes energéticas/combustibles: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

Categoría principal – Extracción y uso de fuentes energéticas/combustibles							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/ residuo	Principal enfoque para inventario
5.1.1	Combustión de carbón en grandes centrales de energía	X	x	x	x	X	FP
5.1.2	Otras formas de combustión de carbón	X		x	x	x	EG
5.1.3	Extracción, refinación y uso de aceite mineral	X	X	x	x	x	EG/FP
5.1.4	Extracción, refinación y uso de gas natural	X	X	X	x	X	EG/FP
5.1.5	Extracción y uso de otros combustibles fósiles	X	x	x		x	EG



Categoría principal – Extracción y uso de fuentes energéticas/combustibles							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/residuo	Principal enfoque para inventario
5.1.6	Energía por quema de biomasa y producción de calor	X	x	x		x	EG
5.1.7	Producción de energía geotérmica	X					FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 4.3.2 Producción primaria (virgen) de metales

109. Esta categoría incluye las siguientes subcategorías principales:

- **Extracción primaria y procesamiento de mercurio**, es decir, extracción primaria dedicada al mercurio;
- **Extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio**, es decir, el mercurio se usa deliberadamente para extraer oro y plata a diferencia de otros procesos para la extracción de estos metales;
- **Extracción y procesamiento inicial de zinc**, es decir, extracción y procesamiento inicial de zinc cuando hay impurezas de mercurio en las menas;
- **Extracción y procesamiento inicial de cobre**, es decir, extracción y procesamiento inicial de cobre cuando hay impurezas de mercurio en las menas;
- **Extracción y procesamiento inicial de plomo**, es decir, extracción y procesamiento primario donde el mercurio aparece en las menas;
- **Extracción y procesamiento inicial de oro mediante procesos distintos de la amalgamación de mercurio**, donde el mercurio aparece como impureza natural en la mena de oro;
- **Extracción y procesamiento inicial de aluminio**, es decir, extracción y procesamiento primario de aluminio cuando hay impurezas de mercurio en las menas u otras materias primas;
- **Extracción y procesamiento de otros metales no ferrosos**, es decir, extracción primaria y procesamiento de otros metales no ferrosos, como el níquel y otros;
- **Producción primaria de metales ferrosos**, como la producción de hierro, acero, ferromanganeso, etc.

110. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

Tabla 4-3 Producción primaria (virgen) de metales: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Categoría principal – Producción primaria (virgen) de metal							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/residuo	Principal enfoque para inventario
5.2.1	Extracción primaria y procesamiento de mercurio	X	X	X	X	X	FP
5.2.2	Extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio	X	X	X			EG
5.2.3	Extracción y procesamiento inicial de zinc	X	X	X	X	X	FP
5.2.4	Extracción y procesamiento inicial de cobre	X	X	X	X	X	FP
5.2.5	Extracción y procesamiento inicial de plomo	X	X	X	X	X	FP
5.2.6	Extracción y procesamiento inicial de oro mediante procesos distintos de la amalgamación de mercurio	X	X	X	X	X	FP
5.2.7	Extracción y procesamiento inicial de aluminio	X		x		x	FP
5.2.8	Extracción y procesamiento de otros metales no ferrosos	X	X	X		X	FP
5.2.9	Producción primaria de metales ferrosos	X				x	FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 4.3.3 Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio

111. Esta categoría incluye las siguientes subcategorías principales:

- **Producción de cemento**, incluye el mercurio en la cal, los desechos como combustible y otras materias primas;
- **Producción de pulpa y papel**, incluye las impurezas de mercurio en la Madera, otros combustibles y sosa cáustica y, en algunos casos, controladores de limo a base de mercurio;
- **Producción y procesamiento de otras materias primas**, incluye la producción y el uso de cal, agregados ligeros, fertilizantes minerales y otros.

112. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

Tabla 4-4 Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Categoría principal – Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/residuo	Principal enfoque para inventario
5.3.1	Producción de cemento	X		x	x	x	FP
5.3.2	Producción de pulpa y papel	X	x	x		x	FP
5.3.3	Producción de cal y hornos de agregados ligeros	X			x		FP
5.3.4	Otros minerales y materiales						FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

#### 4.3.4 Uso deliberado de mercurio en procesos industriales

113. Esta categoría incluye las siguientes subcategorías principales:

- Producción de cloroálcali con tecnología de mercurio;
- Producción de VCM (monómeros de cloruro de vinilo) con bicloruro de mercurio ( $\text{HgCl}_2$ ) como catalizador;
- Producción de acetaldehídos con sulfato de mercurio ( $\text{HgSO}_4$ ) como catalizador;
- Otras formas de producción de químicos y polímeros con compuestos de mercurio como catalizadores.

114. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

Tabla 4-5 Uso deliberado de mercurio como material auxiliar en procesos industriales: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Categoría principal – Uso deliberado de mercurio como material auxiliar en procesos industriales							
Capítulo	Subcategorías	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/residuo	Principal enfoque para inventario
5.4.1	Producción de cloroálcali con tecnología de mercurio	X	X	X	X	X	FP
5.4.2	Producción de VCM (monómeros de cloruro de vinilo) con bicloruro de mercurio ( $\text{HgCl}_2$ ) como catalizador	x	x			X	FP
5.4.3	Producción de acetaldehídos con sulfato de mercurio ( $\text{HgSO}_4$ ) como catalizador	?	?	?	?	?	FP
5.4.4	Otras formas de producción de químicos y polímeros con compuestos de mercurio como catalizadores	?	?	?	?	?	FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 4.3.5 Productos de consumo con uso deliberado de mercurio

115. Esta categoría incluye las subcategorías principales a continuación. Contempla productos que pueden ser usados por grupos más amplios (y pueden estar sujetos a procedimientos de manejo de desechos públicos). Asimismo, incluye liberaciones provenientes de la producción, uso y disposición.

- **Termómetros que contienen mercurio**, como los termómetros médicos, otros termómetros de vidrio (usados en laboratorios, con propósitos educativos, etc.) y otros termómetros con mercurio (industriales, motores marinos a diesel, etc.);
- **Interruptores eléctricos y electrónicos, contactos y relevadores con mercurio:**
  - Interruptores de nivel en bombas de cloaca, bombas de agua, tapas de los maleteros o cajuelas de los autos (iluminación interior), sensores ABS en autos, sistemas de control del recorrido automotriz, tapas de congeladores, alarmas para notificar las caídas de los ancianos, señalamientos en vías de ferrocarril, lucecitas en los zapatos infantiles, etc.,
  - Levostatos multipolares en máquinas excavadoras,
  - contactos bañados en mercurio (electrónica),
  - Relevadores de transmisión de datos o “relevadores de lengüeta”,
  - Interruptores térmicos, etc.;
- **Fuentes de luz con mercurio:**
  - Lámparas fluorescentes lineales,
  - Focos compactos (lámparas fluorescentes pequeñas ahorradoras de energía),
  - Publicidad urbana con tubos fluorescentes,
  - Otras lámparas con mercurio (lámparas Hg y Na para el alumbrado público, lámparas UV para el bronceado, fuentes de luz en pantallas planas LCD par televisores y equipos de cómputo, lámparas de laboratorio para espectrometría y absorción de átomos, faros de algunas marcas de autos, etc.);
- **Pilas con mercurio:**
  - Pilas de óxido de mercurio (cilíndricas y de botón),
  - Celdas alcalinas cilíndricas (que contienen mercurio). (Nota: en años recientes se ha reducido o eliminado el contenido de mercurio en celdas alcalinas cilíndricas de muchas marcas de pilas),
  - Celdas de botón de la mayoría de tipos (que contienen mercurio);
- **Biocidas y pesticidas**, incluye recubrimiento de semillas, desinfectantes de plantas de semillero de caña de azúcar y otros pesticidas;
- **Pinturas**, incluye algunas pinturas de látex y posiblemente otras pinturas con compuestos de mercurio que actúan como biocidas para la preservación del producto en el anaquel;
- **Productos farmacéuticos de uso humano y veterinario**, incluye vacunas, gotas oftálmicas, medicamentos herbales, desinfectantes, etc.;
- **Cosméticos y productos relacionados**, incluye cremas y jabones para aclarar la piel, agentes conservadores en cosméticos para los ojos, etc.

116. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

Tabla 4-6 *Productos de consumo con uso deliberado de mercurio: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

Categoría principal – Productos de consumo con uso deliberado de mercurio							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho / residuo	Principal enfoque para inventario
5.5.1	Termómetros con mercurio	X	X	X	X	X	EG
5.5.2	Interruptores eléctricos y electrónicos, contactos y relevadores con mercurio	X	x	X	X	X	EG
5.5.3	Fuentes de luz con mercurio	X	x	X	X	X	EG
5.5.4	Pilas con mercurio	X	x	X	X	X	EG
5.5.5	Biocidas y pesticidas	X	X	X	X	X	EG
5.5.6	Pinturas	X	x	x	X	x	EG
5.5.7	Productos farmacéuticos de uso humano y veterinario	X	x	x	x	X	EG
5.5.8	Cosméticos y otros productos relacionados		X		X	x	EG

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;

X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

#### 4.3.6 Otros productos/procesos con uso deliberado de mercurio

117. Esta categoría incluye las subcategorías principales a continuación. Asimismo, incluye las liberaciones provenientes de la producción, el uso y la disposición.

- **Amalgamas dentales;**
- **Manómetros y medidores de presión sanguínea:**
  - Medidores de presión sanguínea;
  - Otros manómetros/controles de presión para uso industrial, con propósitos educativos, válvulas de presión de calefacción urbana (estos controles de presión pueden contener cientos de kilos de mercurio por válvula de control), etc.;
- **Químicos y equipo de laboratorio:**
  - Aparatos especiales de laboratorio (contadores de Coulter, etc.),
  - Reactivos químicos para análisis COD, análisis Kjeldahl (análisis de nitrógeno),
  - Electrodo para mediciones fisicoquímicas, como los electrodos calomel y otros;
- **Usos étnicos/culturales/rituales**, como el uso de metal mercurio en rituales y prácticas de tipo religioso/étnico/cultural, y en medicina tradicional;
- **Otros usos del metal mercurio:**
  - Usos educativos,
  - Giroscopios con mercurio,
  - Bombas de vacío con mercurio,
  - Luces para la navegación marina en los faros (en algunos tipos de faros la lente/lámpara flota con mercurio),
  - Mercurio en grandes piezas mecánicas de rodamiento, por ejemplo en viejas plantas para el tratamiento de aguas residuales;

- **Productos misceláneos:**
  - Semiconductores de detección infrarroja,
  - Productos para curtido,
  - Pigmentos,
  - Oscurecimiento y grabado de acero,
  - Algunos tipos de papel fotográfico para impresión a color,
  - Protectores de culata en rifles,
  - Explosivos (por ejemplo la sustancia *mercury-fulminate*, HG (CNO)<sub>2</sub>),
  - Dispositivos pirotécnicos,
  - Juguetes para ejecutivos;

118. Las últimas dos subcategorías, otros metales de mercurio y productos misceláneos, cubre una amplia gama de usos que han sido reportados y que 1) se sabe que son usos generalmente menores (bajo nivel de consumo) o bien 2) usos para los que se dispone de muy pocos datos. Sin embargo, no pueden descartarse como fuentes potencialmente importantes de liberaciones locales o nacionales.

119. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

Tabla 4-7 *Otros productos/procesos con uso deliberado de mercurio: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

Categoría principal – Otros productos/procesos con uso deliberado de mercurio							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho / residuo	Principal enfoque para inventario
5.6.1	Amalgamas dentales de mercurio	x	X		X	X	EG
5.6.2	Manómetros y medidores	x	X	x	X	X	EG
5.6.3	Químicos y equipos de laboratorio	x	X		X	X	EG
5.6.4	Uso de metal mercurio en rituales religiosos y medicina tradicional	X	X	X	X	X	EG
5.6.5	Usos de productos misceláneos, usos de metal mercurio y otras fuentes	X	X	X	X	X	EG

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

#### 4.3.7 Producción de metales reciclados (producción “secundaria” de metales)

120. Esta categoría incluye las siguientes subcategorías principales:

- **Producción de mercurio reciclado (producción “secundaria” de metal)**, incluye la recolección y el procesamiento para el reciclaje del mercurio;
- **Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)**, incluye la recolección y el procesamiento para el reciclaje del hierro y el acero (manejo de chatarra, fundición de autos chatarra, trituradoras, hornos de refundición).
- **Producción de otros metales reciclados.**

121. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

Tabla 4-8 Producción de metales reciclados: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Categoría principal – Producción de metales reciclados							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho / residuo	Principal enfoque para inventario
5.7.1	Producción de mercurio reciclado (producción “secundaria”)	X	X	X	X	X	FP
5.7.2	Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)	X	x	x		x	FP
5.7.3	Producción de otros metales reciclados	X	x	x		x	FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

#### 4.3.8 Incineración de desechos

122. Esta categoría incluye las siguientes subcategorías principales:

- **Incineración de desechos municipales/generales** – principalmente desechos domésticos (viviendas e instituciones) que pueden contener mercurio debido a usos deliberados de todo tipo y debido a impurezas encontradas en grandes volúmenes de diversos materiales);
- **Incineración de desechos peligrosos** – por lo general, desechos combustibles recogidos por separado que pueden contener mercurio debido a usos deliberados (por ejemplo, pesticidas, pinturas, productos farmacéuticos, compuestos orgánicos de mercurio) e impurezas generales de mercurio;
- **Incineración de desechos médicos** – por lo general, desechos de hospitales que representan un riesgo para la higiene y pueden contener mercurio debido a usos deliberados dentro del sector médico (termómetros, pilas, productos farmacéuticos, material dental y amalgamas, etc.) además de impurezas generales de mercurio. A veces, los desechos médicos se queman por separado en incineradores especiales; otras, en incineradores de desechos municipales equipados para ello;
- **Incineración de lodos cloacales** – gran parte del mercurio encontrado en las aguas residuales (proveniente de todo tipo de usos de este metal, pero suelen predominar los desechos de amalgamas dentales) acaba en los lodos cloacales. – Si no se esparcen como fertilizante en las tierras agrícolas, los lodos cloacales se queman por separado en incineradores especiales o en incineradores de desechos municipales;
- **Incineración informal de desechos** – incineración informal de desechos privados o locales en fuegos abiertos, barriles, hornos domésticos, etc.

123. No hay que olvidar que la entrada original de mercurio al proceso de incineración de desechos es el mercurio presente en productos con uso deliberado de mercurio y los desechos de producción que lo contienen, así como otros productos con impurezas de mercurio (prácticamente “todos los materiales” contienen trazas de mercurio). El aporte de mercurio a los desechos provenientes de usos deliberados en productos y procesos, y en otros tipos de desechos, se calculan a partir de las subcategorías de usos y productos respectivos incluidas en el presente instrumental. No obstante, en el caso de muchos de estos productos y materiales, el paso relativo a la disposición de desechos representa una actividad de liberación de mercurio potencialmente mayor durante su ciclo de vida.

124. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

Tabla 4-9 *Incineración de desechos: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

Categoría principal – Incineración de desechos							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/residuo	Principal enfoque para inventario
5.8.1	Incineración de desechos municipales/generales	X	x	x	x	X	FP
5.8.2	Incineración de desechos peligrosos	X	x			X	FP
5.8.3	Incineración de desechos médicos	X	x			X	FP
5.8.4	Incineración de lodos cloacales	X	X			X	FP
5.8.5	Incineración informal de desechos	X	X	X			EG

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

#### 4.3.9 Disposición de desechos/rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales

125. Esta categoría incluye las siguientes subcategorías principales:

- **Rellenos sanitarios/depósitos controlados**, es decir, disposición de desechos mediante procedimientos controlados (con base en evaluaciones de riesgo), y retención de contaminantes en los desechos, por ejemplo:
  - Desechos domésticos (viviendas e instituciones),
  - Desechos médicos/peligrosos,
  - Residuos de combustión/incineración de sólidos,
  - Lodos cloacales de aguas residuales;
- **Deposición difusa con cierto grado de control**, como la deposición de residuos de la incineración y otros residuos sólidos bajo los caminos, en las construcciones, etc. con procedimientos controlados (con base en evaluación de riesgos) y con cierta retención de contaminantes por deslave, etc.;
- **Deposición local informal de desechos de la producción industrial**, como los desechos de la producción de cloroálcali, los desechos de la producción de sustancias químicas y otros desechos (en el sitio de la producción o en otros lugares);
- **Vertederos informales de desechos**, es decir, vertederos informales de desechos generales que carecen de control y se encuentran de manera difusa o en vertederos localizados;
- **Sistema/tratamiento de aguas residuales**, donde cualquier presencia de mercurio en las aguas residuales (proveniente de todo tipo de usos, pero sobre todo de amalgamas dentales) termina en los lodos cloacales y, en menor medida, en el agua resultante.

126. No hay que olvidar que la entrada original de mercurio a los desechos es el mercurio presente en productos con uso deliberado de mercurio y los desechos de producción que lo contienen, así como otros productos con impurezas de mercurio (“todos los productos”). No obstante, en el caso de muchos de estos productos y materiales, el paso relativo a la disposición de desechos representa una actividad de liberación de mercurio potencialmente mayor durante su ciclo de vida.



127. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

*Tabla 4-10 Disposición de desechos/rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

<b>Categoría principal – Disposición/depósito de desechos en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales</b>							
<b>Capítulo</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Aire</b>	<b>Agua</b>	<b>Tierra</b>	<b>Producto</b>	<b>Desecho / residuo</b>	<b>Principal enfoque para inventario</b>
<b>5.9.1</b>	Rellenos sanitarios/depósitos controlados	x	x	<b>X</b>		<b>X</b>	EG
<b>5.9.2</b>	Disposición difusa con cierto grado de control	x	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	EG
<b>5.9.3</b>	Disposición local informal de desechos de la producción industrial	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>			FP
<b>5.9.4</b>	Vertederos informales de desechos	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>			EG
<b>5.9.5</b>	Sistemas/tratamiento de aguas residuales		<b>X</b>	<b>X</b>		x	EG/FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
**X** - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

#### **4.3.10 Crematorios y cementerios**

128. Esta categoría incluye las siguientes subcategorías principales:

- **Crematorios;**
- **Cementerios.**

129. La siguiente tabla señala las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para el inventario de cada una de las subcategorías.

*Tabla 4-11 Crematorios y cementerios: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

<b>Categoría principal – Crematorios y cementerios</b>							
<b>Capítulo</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Aire</b>	<b>Agua</b>	<b>Tierra</b>	<b>Producto</b>	<b>Desecho/ residuo</b>	<b>Principal enfoque para el inventario</b>
5.10.1	Crematorios	<b>X</b>				x	EG
5.10.2	Cementerios			<b>X</b>			EG

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
**X** - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 4.3.11 Identificación de puntos calientes potenciales

130. Esta categoría principal se superpone hasta cierto punto con algunas de las subcategorías de deposición de desechos, pero se concentra en mercurio previamente depositado que conserva potencial de emitir liberaciones significativas y representar un riesgo para los seres humanos y el medio ambiente.

131. Los puntos calientes son resultado directo de las prácticas de disposición descritas en las secciones 5.9.3 y 5.9.4, o de la disposición inadecuada de materiales contaminados. Es posible que las liberaciones de estos sitios ya estén ocurriendo o puede esperarse que comiencen a producirse si no se toman las medidas pertinentes. La tabla 4-12 contiene una lista de ubicaciones donde pueden encontrarse los puntos calientes de emisión de mercurio.

132. Los puntos calientes pueden estar vinculados a un proceso de producción ya en curso y las liberaciones pueden provenir de procesos *in situ* o de actividades pasadas. Otros puntos calientes potenciales son las reservas en las que se han almacenado, vertido o acumulado materiales que contienen mercurio durante muchos años. En esos casos, las liberaciones pueden estar ocurriendo, pueden ser inminentes o solo constituir una amenaza potencial. En algunos casos puede ser difícil identificar ese tipo de sitios.

133. La evaluación local específica de cada punto caliente debe determinar su situación actual: amenaza inmediata o potencial de liberaciones en el futuro. En todo caso, es necesario registrar el sitio.

134. La siguiente tabla detalla las principales vías de liberación de mercurio y el enfoque recomendado para inventariarlas en cada uno de estos puntos calientes potenciales.

Tabla 4-12 Puntos calientes potenciales: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Categoría principal – Puntos calientes potenciales							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/ residuo	Principal enfoque para el inventario
	Instalaciones de producción de cloroálcali cerradas o abandonadas	x	X	X		X	FP
	Otros viejos sitios de producción de sustancias químicas donde se producen/produjeron compuestos de mercurio (pesticidas, biocidas, pigmentos, etc.), o se usó mercurio o compuestos de mercurio como catalizadores (VCM/PVC, etc.)	x	X	X	x	X	FP
	Instalaciones cerradas de manufactura de termómetros, interruptores, pilas y otros productos	x	X	X	X	x	FP
	Instalaciones cerradas de pulpa y fabricación de papel (con producción interna de cloroálcali o antiguo uso de limocidas a base de mercurio)	x	X	X		X	FP
	Depósitos de relaves/residuos de extracción de mercurio	x	X	X	X	X	FP
	Depósitos de relaves/residuos de extracción de oro de manera artesanal y a gran escala	x	X	X		X	FP

Categoría principal – Puntos calientes potenciales							
Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/ residuo	Principal enfoque para el inventario
	Depósitos de relaves/residuos de extracción de otros metales no ferrosos	x	X	X	X	X	FP
	Sitios donde se han registrado accidentes de relevancia	x	X	X		X	FP
	Dragado de sedimentos	x	X	X		X	FP
	Sitios de controles de calefacción urbana desechados (y otros controles de fluidos) con válvulas de presión de mercurio		X	X			FP
	Sitios de reciclado previo de mercurio (producción “secundaria” de mercurio)	x	X	X	X	X	FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

#### 4.4 Paso 3: recopilación de datos y cuantificación de liberaciones de mercurio

135. El inventario cuantitativo se elabora en el tercer paso. Se reúnen datos sobre el volumen de actividad ("tasas de actividad") e información específica por proceso a fin de calcular las liberaciones de mercurio a partir de las fuentes identificadas en el país (o región) en cuestión. En esta sección, primero se presentan los tipos de datos correspondientes; después, en la sección 4.4.5 se brinda orientación general sobre la recopilación de datos. Debe enfatizarse que la recopilación de datos no se limita a este paso del procedimiento; bien puede ser necesaria a lo largo del proceso de elaboración del inventario de mercurio.

136. Como paso preliminar, cabe evaluar la pertinencia de crear un inventario cuantitativo desde el principio o si, como paso inicial, se desea contra con un inventario provisional para apoyar el establecimiento de prioridades futuras e iniciar la comunicación entre los participantes/revisores del inventario. El inventario preliminar puede presentar las subcategorías identificadas con la indicación de su importancia relativa. Es posible tener una impresión inicial de la importancia relativa (magnitud de las liberaciones de mercurio) de las subcategorías identificadas si se reúnen y aplican datos respecto al volumen de actividad (ver a continuación) y/o información relevante, como el número y tamaño aproximados de las instalaciones en determinada industria, el número aproximado de personas que participan en determinada actividad, como extracción de oro, etc. El informe provisional puede elaborarse a partir del esquema que aparece en la sección 4.5.3.

##### 4.4.1 Principios para la cuantificación

###### Ecuación básica de cuantificación

137. El objetivo fundamental del instrumental es permitir el cálculo de la liberación promedio anual en cada vía o vector (aire, agua, tierra, productos, desechos generales, tratamiento específico de desechos por sector) por cada proceso de liberación identificado. El cálculo puede hacerse al aplicar la siguiente ecuación básica:

**ECUACIÓN 1:**

<b>Liberación estimada de mercurio a la vía X</b>	=	<b>tasa de actividad * factor de entrada * factor de distribución de emisiones para la vía X</b>
---	---	--

138. En otras palabras, las liberaciones estimadas de mercurio por año para cada vía se calculan:

- Multiplicando el monto de materia prima procesada o productos manufacturados por unidad de tiempo (por ejemplo, toneladas o piezas por año), denominado **tasa de actividad** - con
- Un “factor de entrada”. Para las subcategorías con sólo una etapa de ciclo de vida (como la combustión de carbón) el factor de entrada es el contenido de mercurio (por ejemplo, en gramos de Hg) por unidad de materia prima procesada. Para las subcategorías con más de una etapa en el ciclo de vida (como la producción de pilas), el factor de entrada se define etapa por etapa. Por ejemplo, el factor de entrada para la etapa de la producción es el monto del mercurio liberado por tonelada métrica de pilas producidas o producto manufacturado (por ejemplo, tonelada métrica o pieza), denominado **factor de entrada**.
- y la fracción o parte (sin unidades) de la entrada de mercurio que se libera a través de una vía en particular (aire, agua, tierra, producto, desecho general o tratamiento específico de desechos), denominada **factores de distribución de las emisiones**.

139. Sin embargo, es importante destacar que los factores de entrada para muchas subcategorías son más complicados de lo que se define aquí. Para las subcategorías con sólo una etapa dominante de ciclo de vida (como la combustión de carbón o la incineración de desechos) el factor de entrada es el contenido de mercurio (por ejemplo, en gramos de mercurio) por unidad de materia prima (por ejemplo, carbón, desechos, etc.) procesada. Para subcategorías con más de una etapa en el ciclo de vida (como las pilas o los termómetros que contienen mercurio) los factores de entrada son más complicados y deben definirse para cada etapa.

140. Asimismo, es importante asegurarse de que las unidades por tasa de actividad, los factores de entrada y las liberaciones se apliquen adecuadamente a los cálculos. Si las unidades no son consistentes (y no producen resultados matemáticos correctos), habrá de recurrirse a factores de conversión para asegurarse de que las unidades sigan los cálculos matemáticos pertinentes. Las liberaciones de mercurio por año deben calcularse y presentarse en Kg. (o toneladas métricas) para cada vía (por ejemplo, Kg. de mercurio emitidos al aire cada año). Nótese que en las secciones dedicadas a la descripción de las fuentes en el capítulo 5 los factores de entrada aparecen expresados en las unidades (métricas) que permiten facilitar su lectura. Asegúrese de que dichas unidades queden convertidas al nivel de magnitud pertinente al resultado en las emisiones por Kg. en su informe.

141. El presente instrumental sugiere evaluar y presentar todas las liberaciones de mercurio de manera individual a fin de promover la transparencia y la uniformidad del procedimiento. El resumen del informe del inventario sintetiza todas las liberaciones a cada una de las vías para cada una de las subcategorías de fuentes (y categorías principales). Se sigue el mismo procedimiento con cada una de las vías relevantes al ciclo de vida de la subcategoría en cuestión. Véase el ejemplo a continuación y la sección 4.5 sobre la presentación del inventario.

**Enfoque de fuente nacional general o enfoque de fuente puntual**

142. En el caso de algunas subcategorías, las fuentes reales podrían ser un determinado número de fuentes puntuales claramente definidas (con una ubicación geográfica específica), por lo general con características particulares por planta. En esos casos, se aplica el **enfoque de fuentes puntuales**. El cálculo de las liberaciones totales nacionales (o regionales) provenientes de esta subcategoría se define como la suma de las liberaciones de mercurio (calculadas con la ecuación (1)) para cada fuente puntual que exista en el país (o región).

143. Las subcategorías en las que el enfoque de fuentes puntuales puede ser idóneo son, entre otras, las grandes centrales de energía a base de quema de carbón, los incineradores de desechos municipales, la producción de cloroálcali y la producción de cemento.

144. En el caso de otras fuentes de mercurio el enfoque de fuentes puntuales podría ser irrelevante, difícil de implementar o simplemente no constituir la mejor opción. Entonces puede aplicarse un **enfoque general**. Tal es el caso de las fuentes en las que las liberaciones no se limitan a una ubicación geográfica específica (a veces denominadas “fuentes por área”), las fuentes en las que los datos disponibles son insuficientes para llevar a cabo un inventario con el enfoque de fuentes puntuales o las fuentes en las que las fuentes puntuales operan en condiciones muy similares. En esos casos, el total de las liberaciones nacionales (o regionales) provenientes de la subcategoría puede calcularse al aplicar cifras de tasa de actividad nacional (o regional) combinadas con factores generales de entrada de mercurio y factores de distribución de salidas, o bien extrapolando las liberaciones de unas cuantas fuentes puntuales bien documentadas a la escala nacional o regional (usando tasas de actividad nacionales y por fuente puntual a fin de ampliar progresivamente los cálculos de las liberaciones).

145. Las subcategorías para las que se recomienda aplicar un enfoque general son, entre otras, la combustión residencial de carbón, la disposición de termómetros de mercurio, la cremación y los rellenos sanitarios.

146. A fin de ayudar a los usuarios del presente instrumental en el cálculo de las liberaciones provenientes de cada subcategoría, las tablas generales por subcategoría en la sección 4.3 y en el capítulo 5 incluyen el enfoque principal y recomendado para cada caso. En dichas tablas, el **enfoque de fuentes puntuales** se abrevia “FP” y el **enfoque general** se abrevia “EG”.

#### **Cálculo de las liberaciones individuales a lo largo del ciclo de vida**

147. Las liberaciones provenientes de las etapas relevantes del ciclo de vida se calculan individualmente en cada subcategoría, pero se describen en la misma sección del informe del inventario.

148. Para cada subcategoría descrita en el capítulo 5 se incluye la indicación sobre los principales potenciales de liberación en cada etapa a lo largo del ciclo de vida (producción - uso - disposición) y los medios ambientales donde es más probable que se registren las liberaciones. La información aparece tanto en el cuerpo del texto como en una tabla, como se muestra a continuación.

*Tabla 4-13 Ejemplo de una tabla general que indica las principales liberaciones y medios receptores en el ciclo de vida de un producto o servicio (en el ejemplo, pilas con mercurio)*

<b>Etapas del ciclo de vida</b>	<b>Aire</b>	<b>Agua</b>	<b>Tierra</b>	<b>Productos</b>	<b>Desechos generales</b>	<b>Tratamiento/disposición específica por sector</b>
Producción	<b>X</b>	x	x	<b>X</b>		x
Uso						
Disposición	<b>X</b>		<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X *1</b>

Notas: \*1: Las pilas recogidas por separado que contienen mercurio (o clasificadas de esa manera durante la separación) pueden desecharse en rellenos sanitarios con seguridad especial;  
**X** - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

149. Debe señalarse que, dentro de una subcategoría específica, el enfoque de fuentes puntuales puede ser más adecuado para calcular las liberaciones provenientes de la etapa de producción, al tiempo que el enfoque general puede ser el indicado para las etapas de uso y disposición. Tal es el caso, por ejemplo, de los termómetros de mercurio, donde un país puede tener sólo una o pocas

fábricas de termómetros, pero los termómetros de mercurio (incluidos los importados) incluyen diversos usos a lo largo y ancho del área geográfica del país y se rompen o desechan de manera local.

### Ejemplos del cálculo de las liberaciones de mercurio

150. La sección 4.4.7 muestra tres ejemplos de cálculos de entradas y salidas o emisiones para determinadas categorías de fuentes. En los ejemplos, la siguiente tabla sirve para sumar los resultados de los cálculos. La tabla facilita la presentación (resumida) de todos los datos incluidos en los cálculos, y los resultados de los cálculos.

Tabla 4-14 Ejemplo de una posible tabla que presenta, en síntesis, las liberaciones de mercurio calculadas para una subcategoría específica

[Nombre de la subcategoría]	Unidad	Producción	Uso	Disposición	Suma de liberaciones a una vía provenientes de la parte del ciclo de vida evaluada
<b>Tasa de actividad</b>					-
Factor de entrada para la etapa*1					-
Entradas calculadas para la etapa *2					-
<b>Factores de distribución de salidas para la etapa: *3</b>					
- Aire					-
- Agua					-
- Tierra					-
- Productos					-
- Tratamiento general de desechos					-
- Tratamiento específico de desechos por sector					-
<b>Salidas/emisiones calculadas hacia: *4</b>					
- El aire					
- El agua					
- La tierra					
- Los productos					
- El tratamiento general de desechos					
- El tratamiento específico de desechos por sector					

Notas: \*1 [Referencia (cruzada) al origen o método para el desarrollo de los factores de entrada];  
 \*2 Subcálculo para aplicación en el informe con la fórmula “Entrada = factor de entrada \* tasa de actividad” para cada etapa;  
 \*3 [Referencia (cruzada) al origen de los factores de entrada];  
 \*4 Calculadas con la ecuación (1) para cada una de las vías dentro de cada etapa, por ejemplo: liberaciones de mercurio al aire provenientes de la producción = tasa de actividad producción \* factor de entrada \* factor de distribución de salidas al aire para la producción.

#### 4.4.2 Uso de las tasas de actividad

151. Como se dijo antes, la tasa de actividad es un parámetro que describe el volumen de actividad en la subcategoría en cuestión por unidad de tiempo (por lo general, cada año).

152. La elección de la base de tasa de actividad variará de una subcategoría a la otra, ya que en cada una de ellas habrá tasas de actividad que describan mejor el volumen correspondiente y ciertos datos podrían obtenerse más fácilmente en estadísticas públicas u otras fuentes.

153. Por ejemplo, la entrada de mercurio en el caso del carbón se calcula de forma más directa multiplicando la concentración de mercurio en el carbón usado (gramos de mercurio por tonelada métrica de carbón) y el consumo del mismo carbón (tonelada métrica de carbón por año). No hay que olvidar la importancia de observar si la base del peso es “materia seca” u otra.

154. Por otra parte, en el caso de los termómetros de mercurio, los mejores datos que se conocen son el contenido de mercurio por termómetro (gramos de mercurio por pieza) y el número de termómetros consumidos o producidos por unidad de tiempo (por ejemplo, piezas por año).

155. A fin de ayudar a los usuarios del presente instrumental en el cálculo de las liberaciones provenientes de cada subcategoría, se presenta una lista sobre los tipos de datos de tasa de actividad necesarios para hacer los cálculos del inventario cuantitativo en cada subcategoría conforme a las descripciones del capítulo 5, además del tipo de factores de entrada de mercurio. La información está estructurada en tablas generales como la que aparece a continuación a modo de ejemplo.

*Tabla 4-15 Ejemplo de una tabla general que indica los datos relativos a la tasa de actividad y los tipos de factores de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de una subcategoría específica (en el ejemplo, pilas con mercurio)*

<b>Etapa del ciclo de vida</b>	<b>Datos necesarios sobre la tasa de actividad</b>	<b>Factor de entrada de mercurio</b>
Producción	Toneladas métricas de pilas producidas por año (en el país)	Kg de mercurio liberado por tonelada métrica de pilas producidas *2
Uso	No necesario (liberaciones insignificantes)	No necesario (liberaciones insignificantes)
Disposición	Toneladas métricas de pilas consumidas (o dispuestas) por año *1	Kg de mercurio dispuesto o liberado por tonelada métrica de pilas consumidas *3

Notas: \*1 Como sustituto de las toneladas métricas dispuestas por año. Si hay buenos cálculos de las cantidades de baterías dispuestas, se preferirá su uso. En tiempos de consumo variable, las dos cifras difieren entre sí;

\*2 Kg de mercurio liberados por tonelada métrica de pilas producidas = cantidad de entrada de mercurio (mercurio en kg) usada para producir cada tonelada métrica de pilas multiplicada por el porcentaje de la entrada de mercurio liberada durante esta etapa del ciclo de vida”;

\*3 Este factor de entrada también puede definirse como Kg de mercurio en cada tonelada métrica de pilas multiplicada por el porcentaje de ese mercurio que se libera en la etapa de disposición del ciclo de vida. Si se supone que, a la larga, todo el mercurio de las pilas se libera a algún medio, entonces el “porcentaje de mercurio liberado” puede considerarse como 100%.

156. En algunos casos, no se dispondrá de datos sobre la base de tasa de actividad propuesta (o será difícil obtenerlos) dentro del país. De ser así, tal vez pudieran derivarse las tasas de actividad a las unidades propuestas usando datos de entrada y de conversión alternativos (o factores de conversión). En el ejemplo del carbón, podría no contarse con el dato del consumo de carbón en toneladas métricas por año, pero sí con cifras básicas de producción primaria de energía (por ejemplo, energía primaria en MW por año) provenientes de las centrales de energía. En ese caso, los datos de tasa de actividad pueden derivarse a partir de los datos disponibles sobre el contenido de energía en el o los tipos de carbón usados (por ejemplo, MW por tonelada métrica). Es crucial asegurarse de la idoneidad del proceso para realizar las conversiones, de preferencia llegando al contenido de energía primaria (contenido total de energía química en el carbón seco). Si se desea revisar una descripción más detallada, véase US EPA (2002a) y consulte a los expertos en producción de energía.

157. En el ejemplo de los termómetros, si no se dispone de la cifra de termómetros vendidos, tal vez se encuentren datos sobre el valor o el peso de los termómetros consumidos; dichos datos pueden

servir como tasa de actividad. Una vez más, se requiere de datos de entrada y factores/datos de conversión alternativos.

158. La literatura ofrece ejemplos de datos alternativos y factores/datos de conversión para muchas subcategorías. De no ser así, es posible obtener los ejemplos mediante contacto directo con el sector en cuestión, por ejemplo a través de la asociación de determinado gremio comercial (u otras organizaciones entendidas en el tema), como parte de las propias investigaciones. Por desgracia, no ha sido posible incluir información exhaustiva sobre dichos datos de conversión en el presente instrumental.

### Definición de consumo

159. Es importante notar que el “consumo” de un producto o material por año en un país o región se define a partir de la ecuación (2), donde la producción, las importaciones y las exportaciones anuales se refieren al mismo país o región:

### ECUACIÓN 2:

$$\text{Consumo por año} = \text{producción} + \text{importaciones} - \text{exportaciones (por año)}$$

### La disposición puede reflejar consumos de años previos

160. Idealmente, el cálculo de las salidas o emisiones de mercurio provenientes de la disposición debería basarse en los montos totales de productos dispuestos en el año en cuestión; sin embargo, es difícil contar con ese tipo de datos y, por ende, suelen aplicarse cifras de consumo en lugar de los mejores cálculos posibles. El consumo actual puede aplicarse por defecto. En aquellos casos donde el patrón de consumo cambia rápidamente, puede preferirse aplicar las cifras de consumo de años previos (una vida útil promedio anterior) si se cuenta con ese dato. En el caso de algunos productos, la disposición ocurre varios (o muchos) años después de la compra (consumo).

### Usar bases de mercurio elemental en el caso de los compuestos

161. En el caso de subcategorías donde se aplican compuestos de mercurio, los cálculos deben basarse en las tasas de actividad y factores de entrada convertidos al contenido elemental de mercurio. A efectos de dicha conversión, deben aplicarse los datos sobre los pesos atómicos del o los compuestos en cuestión *versus* el peso atómico del mercurio elemental, como lo muestra la ecuación 3:

### ECUACIÓN 3:

<b>Contenido de Hg</b>	=	<b>Peso del compuesto de Hg</b>	*	<b># de átomos de Hg en la molécula del compuesto * peso atómico del Hg</b>	/	<b>(peso atómico de la molécula del compuesto)</b>
------------------------	---	---------------------------------	---	---	---	--

Notas: “#” significa “número”

162. A modo de ejemplo, el contenido de mercurio elemental en 1 kg del compuesto difenilmercurio (fórmula molecular C<sub>12</sub>H<sub>10</sub>Hg) se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de Hg} = \frac{1 \text{ kg}}{\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{Hg}} * \frac{1 * 201 \text{ g Hg/mol}}{(12 * 12.0 + 10 * 1.01 + 1 * 201) \text{ g compuesto/mol}} = \sim 0.566 \text{ kg Hg}$$

163. Es posible encontrar el peso atómico en una buena tabla periódica de elementos; las fórmulas moleculares deben buscarse en manuales de química o en páginas web como <http://www.chemfinder.com> y <http://www.inchem.org/>, en registros públicos de productos como <http://www.spin2000.net>, o en páginas de proveedores de sustancias químicas como <http://www.sigmaaldrich.com>.



### 4.4.3 Seleccionar los factores de entrada de mercurio

164. Como ya se mencionó, el factor de entrada de mercurio se define simplemente como el contenido de mercurio (por ejemplo, en gramos de Hg) por unidad de materia prima procesada o producto producido (por ejemplo, tonelada métrica o pieza) según sea pertinente para cada tipo de fuente. No obstante, como se señala en las secciones 4.4.1 y 4.4.2, los factores de entrada de las subcategorías con más de una etapa de ciclo de vida son un poco más complicados. Sin embargo, las secciones dedicadas a la descripción de fuentes que aparecen en el capítulo 5 incluyen ejemplos de entradas de mercurio para cada tipo de fuente de liberaciones (en la medida en que fue posible obtener datos). Los ejemplos se tomaron de literatura de fácil acceso y reflejan las condiciones reinantes en el lugar y el momento de la observación. En general, el capítulo 5 no sólo indica los datos, sino su origen y el momento en que fueron recolectados.

165. Es importante señalar que los factores de entrada de mercurio cambian con el transcurso del tiempo en el caso de algunas subcategorías. Entre los ejemplos cabe destacar los productos de consumo que en años recientes han estado sujetos a presiones normativas para la reducción (o eliminación) de su contenido de mercurio; tal es el caso de las pilas y las fuentes de iluminación.

166. Asimismo, los factores de entrada de mercurio varían en función de la geografía. Los cambios en el contenido de mercurio en los productos no ocurren a la misma velocidad en todas las regiones del mundo. Además, en el caso de las materias primas naturales (incluidos los combustibles) las concentraciones de mercurio pueden variar considerablemente de una ubicación geográfica a otra debido a diferencias geológicas y, cuando se trata de ciertas fuentes, también debido a cargas previas antropogénicas de mercurio.

167. Por ende, la elección de factores de entrada de mercurio podría tener efectos importantes en el cálculo de las liberaciones. A continuación se dan algunas recomendaciones al respecto:

- Los factores por defecto que aparecen en el capítulo 5 pueden servir para obtener cálculos rápidos aproximados e iniciales de las liberaciones en una subcategoría; a menos que los factores por defecto no reflejen las condiciones predominantes. **Debe destacarse que, como se describe en la sección 4.1.1, los factores por defecto definidos en la presente versión preliminar del instrumental no son definitivos y están sujetos a futuras revisiones.**
- En aquellos casos en que se presenta un factor de entrada de mercurio a modo de ejemplo y se considera que éste refleja mejor las condiciones actuales mejor que el o los factores por defecto, es posible aplicarlo para calcular las liberaciones. Lo mismo sucede con las subcategorías para las cuales el instrumental no aporta factores de distribución de emisiones.
- Si se dispone de datos propios sobre entradas de mercurio que sean válidos y estén bien documentados o existe la posibilidad de obtenerlos con los recursos disponibles, se recomienda ampliamente usarlos en los cálculos del inventario y evitar los factores por defecto o que aparecen a modo de ejemplo.
- En todos los casos deberá elegirse el factor de entrada que mejor represente la subcategoría en investigación. Además, el informe sobre el inventario debe destacar de manera explícita qué factores de entrada se utilizaron y cuáles son los antecedentes correspondientes. Ello facilitará la posterior actualización del inventario, permitirá la evaluación externa del inventario y mejorará la posibilidad de comparar inventarios.

168. Independientemente de los factores de entrada que se elijan (y de otros datos), puede ser conveniente revisar y/o confirmar su aplicabilidad en condiciones locales/nacionales antes de tomar decisiones importantes sobre iniciativas de implementación o mitigación.

169. A fin de ayudar a los usuarios del presente instrumental en el cálculo de las liberaciones provenientes de cada subcategoría, se brinda orientación sobre los datos de cada una de las fuentes

principales bajo un apartado específico en cada subcategoría conforme a sus descripciones en el capítulo 5.

#### 4.4.4 Seleccionar los factores de distribución de salidas

170. Como ya se mencionó, los factores de distribución de salida son las porciones relativas de las **entradas** que siguen las vías de salida correspondientes a cada caso. El capítulo 5 describe, en la medida en que fue posible obtener datos, ejemplos de los factores de distribución de salidas para cada uno de los tipos de fuentes de liberación de mercurio. Al igual que en el caso de los factores de entrada, estos ejemplos se tomaron de literatura de fácil acceso y reflejan las condiciones reinantes en el lugar y el momento de la observación. En general, el capítulo 5 no sólo indica los datos, sino su origen y el momento en que fueron recolectados.

171. Como se señaló en la sección 4.1.1, las vías de salida incluyen:

- Liberaciones directas a la atmósfera (aire);
- Liberaciones directas a los medios acuáticos (agua);
- Liberaciones directas a la tierra (medios terrestres, aguas superficiales incluidas);
- Flujos de mercurio como impurezas en productos comercializados (por ejemplo, tablarroca fabricada a partir de residuos sólidos de depuración de gases de salida en centrales de energía a carbón);
- Flujos de mercurio al sistema público de tratamiento de aguas residuales;
- Flujos de mercurio al sistema general de tratamiento de desechos;
- Flujos de mercurio a tratamientos específicos de desechos por sector o sistemas de disposición.

Los principios aplicados en esta “vía de liberación” varían de un sector a otro; por ejemplo, pueden implicar la recolección y el reciclaje por separado, la disposición segura de desechos con altas concentraciones de mercurio o el uso de residuos de baja concentración en la construcción de caminos u otras actividades parecidas. A fin de distinguir esas formas de disposición de las “liberaciones directas a la tierra” en las que no hay mecanismos de control, las primeras deben caracterizarse por un elemento de ponderación por evaluaciones de riesgos o la aceptación informada por parte de las autoridades. Los informes del inventario siempre deben incluir los conocimientos que se tengan del tratamiento o disposición.

172. Debe destacarse que la disposición o la incineración de desechos en instalaciones de manufactura u otros sitios que carece de control, se realiza de forma informal o ilegal, y sin evaluar la retención de mercurio se considera como liberaciones directas a la tierra, la atmósfera o al agua, según corresponda.

173. Asimismo, cabe destacar que las secciones dedicadas a la descripción de las fuentes no distinguen entre la liberación directa al agua y las liberaciones al sistema de aguas residuales. La razón es que la distribución entre ambas vías y las condiciones locales son demasiado variables de un país a otro, lo que dificulta la formulación de generalidades. Por ende, al realizar el inventario debe señalarse, para cada fuente cuantificada, si las liberaciones al agua son descargas directas o al sistema de aguas residuales. En algunos países será irrelevante o complicado distinguir entre las liberaciones directas al agua y las liberaciones al tratamiento de aguas residuales; en esos casos, ambas pueden considerarse como una sola vía de emisión.

174. Los productos y materiales comercializados con contenido deliberado de mercurio no se consideran una vía de liberación dentro del presente instrumental. No obstante, los montos de mercurio comercializados con dichos productos y materiales se abordan ampliamente en las secciones dedicadas a la descripción de las fuentes (Capítulo 5) y también deben cuantificarse en el inventario a fin de calcular las liberaciones de mercurio al ambiente. Los termómetros de mercurio, las pilas y el mercurio metálico son algunos ejemplos de este tipo de productos.

#### **Factores clave generales para la distribución de salidas de mercurio**

175. En el caso de las **fuentes puntuales** como la combustión de carbón, la incineración de desechos y la producción de metales no ferrosos, los aspectos clave en la distribución de salidas suelen ser los sistemas de reducción de emisiones aplicados a la fuente puntual. La eficiencia en la retención del mercurio y otros factores varían considerablemente en función de los dispositivos empleados para reducir las emisiones y de la idoneidad de su funcionamiento.

176. En el caso de instalaciones industriales como las plantas de cloroálcali con celdas de mercurio, fábricas de termómetros de mercurio e instalaciones para la producción de pilas, la magnitud de las liberaciones de mercurio dependen mucho de la idoneidad con que cada instalación lleve a cabo medidas de prevención, medidas avanzadas de limpieza, operaciones adecuadas y otras prácticas laborales para minimizar las fugas, los derrames y otras liberaciones no específicas y fugitivas de mercurio. En el presente instrumental este concepto se denomina “procedimientos laborales” para el mercurio.

177. Los buenos procedimientos en el lugar de trabajo incluyen, entre otros, los siguientes: la producción se lleva a cabo en unidades cerradas (no en unidades abiertas); los equipos reciben mantenimiento para evitar las pérdidas de mercurio; hay un monitoreo constante de los procesos y verificaciones especiales a fin de detectar rápidamente cualquier fuga de mercurio; las fugas detectadas se corrigen inmediatamente con las técnicas adecuadas; los derrames de mercurio se recogen con prudencia; se realiza un cuidadoso reciclaje de desechos y pérdidas de mercurio; se dispone y se aplican procedimientos claros para el manejo y almacenaje seguro de materias primas y desechos de mercurio.

178. Estos tipos de fuente también pueden emplear sistemas de reducción de liberaciones hasta cierto punto parecidos a los sistemas usados en las “fuentes puntuales”, como los filtros del sistema de ventilación mecánica por aspiración en las salas de producción (en lugar de ventilar los gases directamente al aire sin haberlos filtrado) y el contenido de mercurio en aguas procesadas se precipita y retiene cuidadosamente en filtros (en lugar de verterse directamente al sistema de desagüe). Estos tipos de fuente también pueden contar con ventilación controlada con mecanismos más tradicionales de tipo “final del tubo”, como depuradores, los filtros de carbón y las retortas.

179. En el caso de los **productos de consumo con uso deliberado de mercurio** es común que la etapa de disposición sea importante para la distribución de salidas a los medios receptores. Los hábitos de disposición y sistemas de manejo de desechos varían mucho de un país a otro, a veces incluso de una localidad a otra. Entre los parámetros importantes destacan: la existencia y alcance de sistemas de recolección de desechos funcionales y supervisados por las autoridades ambientales, el grado en el que los desechos que contienen mercurio se recogen y tratan por separado, y las técnicas de tratamiento de desechos que se aplican para las diferentes corrientes de desechos.

180. Así, los factores de distribución de salidas pueden variar considerablemente de un país a otro, e incluso de una localidad o una fuente puntual a otra. Por lo tanto, la selección de los factores de distribución de salidas más adecuados es crucial para la cuantificación precisa de liberaciones de mercurio.

181. Las recomendaciones para los factores de entrada de mercurio que aparecen en la sección 4.4.3 también aplican a la selección de los factores de distribución de salidas.

#### 4.4.5 Recopilación de datos

182. Las siguientes secciones proporcionan orientación básica sobre la recopilación de los distintos tipos de datos para preparar el inventario. Sin embargo, debe destacarse que la recopilación de datos no se limita a este paso del procedimiento, sino que puede ser necesaria a lo largo del proceso de elaboración del inventario de mercurio.

##### **Descripciones disponibles de fuentes de liberación de mercurio**

183. Como primer paso en la recopilación de datos, asegúrese de identificar y reunir los inventarios parciales o las descripciones de fuentes de mercurio que ya existan en el país. Puede tratarse, por ejemplo, de inventarios locales, inventarios de determinados sectores industriales o estadísticas seleccionadas sobre liberaciones de mercurio.

##### **Datos de tasa de actividad**

184. Las principales fuentes de datos son las estadísticas nacionales de comercio y producción, las estadísticas económicas, las estadísticas sobre energía, las estadísticas laborales, las estadísticas internacionales, etc. La precisión de los datos es variable. Por lo general, las estadísticas derivadas de las aduanas presentan cálculos relativamente buenos. Es necesario tener precaución con los datos sobre mercancías de bajo impacto comercial, pues son más vulnerables a los errores involuntarios en la presentación de informes (y sin embargo pueden tener gran impacto en el inventario de mercurio).

185. Las asociaciones industriales y comerciales y los institutos sectoriales constituyen otra fuente para obtener datos de tasa de actividad. Los datos que proporcionan estas entidades pueden ser sumamente útiles; no obstante, de ser factible, puede ser pertinente cruzarlos con datos independientes. Las relaciones de confianza entre las autoridades ambientales, otras instituciones dedicadas a la preparación de inventarios y el sector privado ofrecen una gran ventaja para la realización de este tipo de tarea, pues de ahí suele provenir información de gran importancia que tal vez no podría obtenerse por medio de otras fuentes.

186. Es probable que se encuentre información sobre los sistemas públicos de manejo de desechos por medio de las autoridades a cargo del manejo de basura o bien de las empresas públicas o privadas cuya responsabilidad es la recolección y el tratamiento de desechos.

##### **Factores de entrada de mercurio**

187. Además de los datos proporcionados en el presente instrumental, en inventarios parciales ya elaborados y en otras fuentes, cabe recordar la utilidad de contactar a las asociaciones industriales y comerciales, así como a las empresas e instituciones de investigación más prominentes. En el caso de las materias primas y los combustibles con impurezas de mercurio, de ser posible, puede resultar útil solicitar análisis de contenido de mercurio en los materiales consumidos. A veces este tipo de datos ya se encuentra disponible por medio de las partes interesadas o sus proveedores de materiales.

188. En el caso del manejo público de desechos generales y peligrosos, es poco común encontrar información sobre el contenido específico de mercurio en fracciones de desecho. Las mejores maneras de calcular las entradas de mercurio en los desechos son los inventarios de fuentes de desechos (productos, etc.) tal como se describen en el presente instrumental y, de existir, los datos sobre contenido de mercurio en todas las emisiones provenientes de la incineración de desechos. Ocasionalmente las empresas dedicadas a la recolección de desechos peligrosos cuentan con información empírica reveladora o incluso estadísticas sobre los tipos y las cantidades de desechos con mercurio que han recolectado. Esta información puede ser útil para la identificación qué tipo de desecho con mercurio es dominante dentro del flujo, etc.

##### **Datos de distribución de salidas**

189. Como se señaló antes, la distribución de salidas o emisiones de mercurio provenientes de instalaciones de producción o manufactura puede ser muy vulnerable a la configuración y las condiciones de cada proceso. Por ende, es común necesitar datos específicos por instalación a fin de

establecer un cuadro más preciso de la situación de las salidas/liberaciones. Este punto también es aplicable al sector de los depósitos de desechos específicos.

190. Parte de estos datos puede obtenerse en los inventarios parciales (si los hubiera), en los registros de operación y autorización de industrias bajo administración de autoridades locales. Asimismo, puede ser necesario solicitar datos a las propias industrias.

191. Es común verse en la necesidad de solicitar datos sobre el contenido de mercurio de las salidas/liberaciones provenientes de la incineración de desechos directamente a cada una de las plantas de incineración. Estos datos puede ayudar a calcular el contenido de mercurio en desechos depositados del mismo tipo.

192. Obtener datos sobre el mercurio representa un desafío desde el punto de vista analítico. Los datos recogidos de manera local sólo deben emplearse si su calidad es adecuada, se considera que son representativos y confiables. Este proceso incluye dar un seguimiento cuidadoso a la forma en que se generaron los datos. La aplicación de métodos normalizados de muestreo y análisis, la experiencia demostrada en laboratorio y la buena documentación son prerequisites para considerar los datos como válidos. Si no se cumple con dichos requisitos, podría ser preferible aplicar los factores de liberaciones por defecto que proporciona el presente instrumental y rechazar los datos de calidad cuestionable. Debe indicarse el uso de factores de emisión distintos de los incluidos en el presente instrumental para el cálculo de liberaciones anuales. Cabe señalar que la extrapolación de uno o dos datos de prueba en las fuentes que pudieran no ser representativos de las operaciones anuales de las instalaciones podría producir datos de baja calidad. Así, es necesario usar los mejores datos disponibles para calcular las liberaciones por medio del monitoreo, el balance de masa, los factores de emisión y/o cálculos de ingeniería.

### **Datos incompletos**

193. Habrá lagunas de datos en todos los inventarios de emisiones. La información incompleta se traduce en la necesidad de aplicar supuestos acerca de las fuentes sin información específica. Hay diversas formas de proceder, pero los supuestos deben ser transparentes para, entre otras cosas, facilitar el cálculo de datos en los próximos años y realizar otras evaluaciones a la luz de la disposición de información más precisa. Se presentan dos tipos de enfoques:

- El enfoque “intermedio” supone que los datos faltantes están distribuidos de manera similar a los datos disponibles (por ejemplo, emisores altos vs. emisores bajo o estado de cumplimiento con los requisitos tecnológicos). Por ejemplo, a partir de este enfoque puede aplicarse un factor promedio (media) o mediano para calcular las emisiones de plantas con datos faltantes.
- El enfoque “conservador” parte del criterio de que es mejor sobreestimar las emisiones en lugar de subestimarlas cuando se trata de fuentes con datos faltantes. Por lo tanto, en este enfoque se supone que las fuentes faltantes son similares a los emisores más altos. Por ejemplo, podría usarse el factor de emisión más alto (o un factor alto) dentro de la base de datos o el factor de emisión más alto de las plantas que aportan información a fin de calcular una cifra conservadora.

194. Los supuestos deben basarse en el mejor juicio que haga uso de los datos disponibles, presentados con claridad y revisados externamente. En algunos casos, pueden encontrarse datos adicionales en asociaciones comerciales, proveedores de equipos, reguladores o expertos en el ramo.

### **Informar la incertidumbre de los datos**

195. En la mayoría de los casos, resultará difícil obtener datos precisos (tal vez ni siquiera existan) o será más pertinente reportar datos como intervalos por otras razones, por ejemplo, debido a cambios durante un período relevante. En general, se recomienda usar y reportar intervalos de datos relevantes. Como alternativa, es posible reportar el “cálculo intermedio” o cálculo conservador (véase el apartado

anterior) acompañado de la incertidumbre cuantificada o estimada de los datos, por ejemplo “15 kg Hg/año  $\pm$  5 kg”.

### **Informar el origen de los datos**

196. En todos los casos es importante reportar el año y origen de los datos.

197. Deberá conservarse un registro interno de todos los datos, incluido el año, la ubicación y el nombre de los proveedores de datos para su posible verificación interna en el futuro.

### **Datos confidenciales**

198. La elaboración de un inventario detallado suele requerir de información proveniente de empresas e instituciones que desean conservar cierta confidencialidad. De ser necesario, los datos pueden agregarse y procesarse al grado de no revelar secretos industriales; las fuentes de los datos deberán mantenerse en el anonimato y citarse en los informes como “fuentes industriales”, “proveedores”, “productores”, etc., según sea el caso. Los conjuntos de datos entregados con la posibilidad de difusión al público en general, incluidos los datos enviados al PNUMA Productos Químicos, deben presentarse de forma tal que no sea posible la revelación de datos confidenciales concretos.

199. Debe llevarse un registro interno de los datos confidenciales detallados (siguiendo los procedimientos adecuados de almacenamiento de información comercial confidencial), sin olvidar la fecha, ubicación y nombre de los proveedores de datos, para su posible verificación interna en el futuro.

## **4.4.6 Balance de entradas y salidas de mercurio para controlar las cuantificaciones**

200. En el caso de algunas subcategorías de fuentes de mercurio será posible cotejar el inventario de mercurio cuando las entradas a la sociedad y las salidas/liberaciones hayan sido medidas/cuantificadas.

201. Así puede ocurrir, por ejemplo, en países donde los controles durante la incineración de desechos son significativos o incluso constituyen una norma. De ser así, las mediciones de las concentraciones de mercurio en el aire de escape, las cenizas de fondo/escoria y los residuos de la depuración de gases de salida pueden ser la base de los cálculos del contenido total de mercurio en los desechos entrantes. Después, los cálculos pueden compararse con la suma de los montos estimados de mercurio que conllevan desechos provenientes de los diferentes productos que contienen este metal. Al usar esta ecuación debe recordarse que un alto volumen de desechos con muy bajas concentraciones traza de mercurio también contribuye a la entrada total del metal. Sin embargo, en el caso de los desechos de consumo, los productos con uso deliberado de mercurio seguirán dominando ese balance.

202. Este tipo de balances se ha llevado a cabo en un número limitado de países, por lo general como un presunto análisis/evaluación de flujo de sustancias (“AFS”), donde se pretende un mapeo total de los flujos de mercurio en la sociedad (y hacia el medio ambiente). Si desea revisar referencias a dichas evaluaciones, consulte el capítulo 6 de la Evaluación Mundial del Mercurio (PNUMA, 2002).

## **4.4.7 Ejemplos de cálculos de liberaciones de diversos tipos de fuentes**

203. Esta sección contiene tres ejemplos hipotéticos para ilustrar la forma en que es posible calcular las liberaciones de mercurio en una central de energía a base de quema de carbón en el país ABC, en instalaciones para la incineración de desechos municipales en el país XX y en el uso y la disposición de pilas que contienen mercurio en el país XYZ, todo ello a partir de la información contenida en el presente instrumental.

**4.4.7.1 Ejemplo 1 – Central de energía a base de quema de carbón en un país hipotético**

**A. Características de las instalaciones, datos disponibles y otras consideraciones**

- Situada en el país ABC, en algún lugar de Sudamérica;
- Tipo general de unidad de combustión: unidades con quemadores de carbón pulverizado;
- Tipo de combustible quemado: carbón bituminoso del Brasil (no se queman otros tipos de combustible);
- Dispositivos de control: PES de lado frío para control de MP;
- El carbón se prelava mediante una técnica similar a la empleada en EE.UU. y la descarga de aguas residuales producto de la limpieza del carbón llega a una planta para el tratamiento *in situ* de aguas residuales;
- Las instalaciones consumen 1 millón de toneladas métricas de carbón por año;
- No se dispone de datos específicos sobre concentración del mercurio en el carbón usado en las instalaciones, la eficiencia del dispositivo de control o la eficiencia de la limpieza del carbón;
- Los residuos de gases de salida se depositan en un relleno sanitario normal y ninguno de ellos se convierte en productos comercializables;
- La evaluación incluirá dos etapas del ciclo de vida: 1) prelavado del carbón, y 2) combustión del carbón. (Nota: como lo señala la sección 5.1.1, las instalaciones de quema de carbón pueden evaluarse usando una sola etapa, particularmente si el prelavado no está incluido. Si desea más detalles al respecto, consulte la sección 5.1.1).

**B. Determinar la tasa de actividad, los factores de entrada y los factores de distribución de salidas para las diferentes etapas del ciclo de vida**

**I. Etapa 1 – Prelavado del carbón**

**a) Determinar la tasa de actividad, los factores de entrada y los factores de distribución de las salidas para la etapa 1 – prelavado del carbón:**

**Tasa de actividad** = 1, 000,000 toneladas métricas de carbón por año;

**Factor de entrada:** No es posible recopilar datos locales específicos debido a la limitación de recursos. Por lo tanto, se acuerda la posibilidad de usar los datos de la tabla 5-4 como estimados de la concentración de mercurio en el carbón. La tabla 5-4 sugiere una concentración media de 0.19 mg de mercurio por kg de carbón en carbón bituminoso de Brasil. Se considera que este valor es la mejor opción como factor de entrada, es decir, un factor de entrada = 0.19 mg de Hg/kg de carbón.

Así, la **entrada total de mercurio antes del prelavado del carbón** puede calcularse de la siguiente manera:

(1)

<b>Entrada total de mercurio antes del prelavado del carbón</b>	=	<i>Tasa de actividad</i> 1,000,000 toneladas métricas de carbón	*	<i>Factor de entrada</i> 0.19 mg Hg/kg de carbón	*	<i>Factor de conversión</i> 1000 kg carbón/toneladas métricas de carbón	*	<i>Factor de conversión</i> 1 kg Hg/1,000,000 mg Hg	=	<b>190 kg Hg</b>
---	---	--	---	---	---	--	---	--	---	------------------

**Factores de distribución:** Después de revisar la información en la sección 5.1.1 y en otros informes, se considera que la reducción de mercurio por limpieza de carbón es similar a la empleada en EE.UU.; por lo tanto se supone una remoción de 21% del mercurio durante el prelavado (cálculo de la US EPA, 1997a). Asimismo, se supone que todo el mercurio removido

durante este proceso fluye con las aguas residuales hasta una planta especial de tratamiento de desagües, donde se supone que se retiene el 100% del mercurio en el agua y después se convierte en residuos sólidos.

Por lo tanto, en el caso del prelavado del carbón los factores de distribución a las diversas vías son:

Agua = 0.0  
 Aire = 0.0  
 Tierra = 0.0  
 Productos = 0.0

Desechos generales (residuos del tratamiento de aguas residuales) = 0.21 (es decir, 21% de Hg removido por prelavado)

**b) Cálculo de liberaciones de mercurio a cada vía para la etapa 1 – prelavado de carbón:**

Las liberaciones pueden calcularse aplicando la entrada total de Hg estimada antes del prelavado y el factor de distribución citado para el prelavado:

$$(2) \quad \begin{array}{|c|} \hline \text{Liberaciones a los} \\ \text{rellenos de} \\ \text{desechos generales} \\ \text{por procesos de} \\ \text{prelavado} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Entrada total de} \\ \text{Hg} \\ \hline 190 \text{ kg Hg} \\ \hline \end{array} * \begin{array}{|c|} \hline \text{Factor de distribución} \\ \text{a los residuos del} \\ \text{tratamiento de aguas} \\ \text{residuales} \\ \hline 0.21 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{39.9} \\ \text{kg Hg} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Redondeado a} \\ \text{40 kg Hg} \\ \hline \end{array}$$

Así, se calcula que 40 kg de mercurio se liberarán durante el lavado del carbón y se supone que el 100% llegará a los rellenos sanitarios de desechos generales (residuos del tratamiento de aguas residuales).

**II. Etapa 2 – combustión del carbón**

**a) Determinar la tasa de actividad, los factores de entrada y los factores de distribución de salidas para la etapa 2 – combustión del carbón:**

Tasa de actividad = 1, 000,000 toneladas métricas de carbón;

**Factor de entrada:** se removió 21% del mercurio durante la limpieza previa del carbón, por lo tanto, 79% del mercurio (es decir, 100% – 21%) permanece en el carbón. Así, la concentración de mercurio en el carbón que entra a la combustión (o el nuevo factor de entrada después del prelavado del carbón) puede calcularse de la siguiente manera:

$$(3) \quad \begin{array}{|c|} \hline \text{Nuevo factor de} \\ \text{entrada después del} \\ \text{prelavado de carbón} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Factor de entrada antes} \\ \text{del prelavado de carbón} \\ \hline 0.19 \text{ mg Hg/kg de} \\ \text{carbón} \\ \hline \end{array} * \begin{array}{|c|} \hline \% \text{ de Hg que queda} \\ \text{en el carbón} \\ \text{después del} \\ \text{prelavado} \\ \hline 0.79 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{0.15 mg} \\ \text{Hg/kg de} \\ \text{carbón} \\ \hline \end{array}$$

Así, la **entrada total de mercurio a la combustión de carbón** después del prelavado puede calcularse de la siguiente manera:

$$(4) \quad \begin{array}{|c|} \hline \text{Entrada} \\ \text{total de} \\ \text{mercurio a} \\ \text{la} \\ \text{combustión} \\ \text{de carbón} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Tasa de} \\ \text{actividad} \\ \hline 1,000,000 \\ \text{toneladas} \\ \text{métricas de} \\ \text{carbón} \\ \hline \end{array} * \begin{array}{|c|} \hline \text{Factor de} \\ \text{entrada} \\ \hline 0.15 \\ \text{mg Hg/kg} \\ \text{de carbón} \\ \hline \end{array} * \begin{array}{|c|} \hline \text{Factor de} \\ \text{conversión} \\ \hline 1000 \\ \text{kg} \\ \text{carbón/tonelad} \\ \text{as métricas de} \\ \text{carbón} \\ \hline \end{array} * \begin{array}{|c|} \hline \text{Factor de} \\ \text{conversión} \\ \hline 1 \\ \text{kg Hg/1.000,000} \\ \text{mg Hg} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{150} \\ \text{kg Hg} \\ \hline \end{array}$$



**Factores de distribución:** En la tabla 5-5, la US EPA reporta una eficiencia media de remoción de 36% en PES de lado frío a partir de los datos de 7 plantas en EE.UU. La tabla 5-6 presenta un valor por defecto preliminar sugerido de 0.1 (o 10%) de remoción para calderas con un “PES general”. Tras considerar las opciones, se decide que el mejor cálculo aproximado será producto de los datos estadounidenses para estas instalaciones hipotéticas.

A partir de la revisión de las descripciones y los datos presentados en la sección 5.1.1, se supone que 36% de la entrada de mercurio a la unidad de combustión se libera con los residuos de los gases de salida depositados en rellenos sanitarios de desechos generales y que el 64% restante se libera a la atmósfera.

Por lo tanto, en el caso de la combustión de carbón los factores de distribución a las diversas vías son:

Aire =	0.64 (es decir, 64% de Hg liberado al aire)
Desechos generales (residuos de gases de salida) =	0.36 (es decir, 36% de Hg a los residuos)
Agua =	0.0
Tierra =	0.0
Desechos específicos por sector =	0.0

**b) Cálculo de liberaciones de mercurio a cada vía en la etapa 2 – combustión de carbón:**

Las liberaciones pueden calcularse usando la entrada total de Hg después del prelavado de carbón y los factores de distribución citados:

(5)	<b>Liberaciones al aire por la combustión del carbón</b>	=	<i>Entrada total de Hg</i> <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> 150 kg Hg	*	<i>Factor de distribución al aire</i> <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> 0.64	=	<b>96 kg Hg</b>
(6)	<b>Liberaciones a los rellenos de desechos generales por la combustión del carbón</b>	=	<i>Entrada total de Hg</i> <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> 150 kg Hg	*	<i>Factor de distribución a los gases de salida</i> <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> 0.36	=	<b>54 kg Hg</b>

Así, se calcula que en esta instalación 96 kg de mercurio se liberan al aire y 54 kg a rellenos de desechos generales (como residuos de gases de salida) por la combustión de carbón después del prelavado.

**C. Resumen de resultados – liberaciones totales calculadas para todas las vías y todas las etapas**

Con base en lo anterior, el total de liberaciones estimadas a todas las vías y todas las etapas es:

Aire =	96 kg Hg;
Agua =	0;
Rellenos de desechos generales (residuos de gases de salida) =	54 kg Hg;
Rellenos de desechos generales (tratamiento de aguas residuales) =	40 kg Hg;
Tratamiento específico de desechos por sector =	0;
Productos =	0;
<b>Liberaciones totales a todos los medios/las vías =</b>	<b>190 kg Hg.</b>

**D. Enfoques alternativos**

Es posible seguir uno de dos enfoques alternativos, aunque parecidos; ambos arrojan los mismos cálculos:

**a) Alternativa #1:**

Este enfoque alternativo sigue el mismo proceso ya descrito, excepto que, en la etapa 2, en lugar de recalcular la concentración de mercurio en el carbón después del prelavado, se calcula el total de mercurio en el carbón que entra en la unidad de combustión:

$$(7) \quad \boxed{\text{Entrada total de Hg que entra en la unidad de combustión después del prelavado}} = \frac{\boxed{\text{Entrada total de Hg antes del prelavado del carbón}}}{\boxed{190 \text{ kg Hg}}} - \frac{\boxed{\text{Hg removido por prelavado del carbón}}}{\boxed{40 \text{ kg Hg}}} = \boxed{150 \text{ kg Hg}}$$

Después, las liberaciones a cada vía se calculan de la misma forma que las operaciones (5) y (6), aplicando los factores de distribución para la combustión de carbón después del prelavado.

**b) Alternativa #2:**

Este enfoque alternativo sólo incluye una sola etapa que combina el prelavado y la combustión. Al aplicar este enfoque, el factor de entrada será 0.19 mg Hg/kg de carbón, la tasa de actividad será 1, 000,000 toneladas métricas de carbón y los factores de distribuciones ajustarán para dar cuenta de la remoción durante la limpieza del carbón:

Los factores de distribución para el enfoque alternativo #2 pueden calcularse de la siguiente manera:

Rellenos sanitarios de desechos generales (residuos de la limpieza de aguas residuales) = 0.21 (debido a la remoción de 21% de Hg después del prelavado de carbón);

Ya que se ha removido 21% del mercurio, 79% (100% – 21%) permanece en el carbón que entra en la caldera; por lo tanto, los otros factores de distribución son:

Aire =	0.64 * 0.79 = 0.51;	(es decir, 64% del mercurio permanece en el carbón que entra en la unidad de combustión, después del prelavado)
Residuos (desechos generales) =	0.36 * 0.79 = 0.28;	(es decir, 36% del mercurio permanece en el carbón que entra en la unidad de combustión, después del prelavado);
Agua =	0.0;	
Tierra =	0.0;	
Productos =	0.0;	

Después, pueden calcularse las liberaciones a cada vía provenientes de la combustión de carbón siguiendo el método anterior y aplicando los factores de distribución citados:

$$(8) \quad \boxed{\text{Liberaciones a rellenos de desechos generales por el prelavado de carbón}} = \frac{\boxed{\text{Entrada total de Hg}}}{\boxed{190 \text{ kg Hg}}} * \frac{\boxed{\text{Factor de distribución a los rellenos de desechos generales}}}{\boxed{0.21}} = \boxed{39.9 \text{ kg Hg}}$$

$$(9) \quad \boxed{\text{Liberaciones al aire de la combustión de carbón después del prelavado}} = \frac{\boxed{\text{Entrada total de Hg}}}{\boxed{190 \text{ kg Hg}}} * \frac{\boxed{\text{Factor de distribución al aire}}}{\boxed{0.51}} = \boxed{96.9 \text{ kg Hg}}$$

$$(10) \quad \boxed{\begin{array}{c} \text{Liberaciones a los} \\ \text{desechos generales de} \\ \text{residuos por gases de} \\ \text{salida} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{c} \text{Entrada total de} \\ \text{Hg} \\ \hline 190 \text{ kg Hg} \end{array}} * \boxed{\begin{array}{c} \text{Factor de distribución} \\ \text{a los desechos} \\ \text{generales} \\ \hline 0.28 \end{array}} = \boxed{53.2 \text{ kg Hg}}$$

**E. Tabla con el resumen del total de liberaciones de mercurio de la central de energía a base de quema de carbón en el país ABC**

A continuación se presente una tabla que sintetiza el cálculo de liberaciones para el ejemplo en consideración, elaborada a partir de la tabla sugerida en la sección 4.4.1.

*Tabla 4-16 Ejemplo 1 – Combustión de carbón –Resumen de liberaciones de mercurio estimadas para el país ABC*

Combustión de carbón (central de energía)	Etapa del ciclo de vida		Suma de liberaciones a la vía en todas las etapas del ciclo de vida
	Prelavado de carbón	Combustión de carbón	
<b>Tasa de actividad</b>	1,000,000 toneladas métricas de carbón	1,000,000 toneladas métricas	-
Factor de entrada por etapa	0.19 mg Hg/kg carbón	0.15 mg Hg/kg carbón	-
Entrada calculada en etapa	190 kg Hg	150 kg Hg	-
<b>Factores de distribución de salidas para:</b>			NA
- Aire	0.0	0.64	NA
- Agua	0.0	0.0	NA
- Tierra	0.0	0.0	NA
- Productos	0.0	0.0	NA
- Tratamiento general de desechos (incluye rellenos sanitarios)	0.21	0.36	NA
- Tratamiento específico de desechos por sector	0.0	0.0	NA
<b>Salidas/liberaciones calculadas hacia:</b>	0.0		
- El aire	0.0	96 kg Hg	96 kg Hg
- El agua	0.0	0.0	0.0
- La tierra	0.0	0.0	0.0
- Los productos	0.0	0.0	0.0
- El tratamiento general de desechos	40 kg Hg	54 kg Hg	94 kg Hg
- El tratamiento específico de desechos por sector	0.0	0.0	0.0

Notas: NA – no aplicable.

**4.4.7.2 Ejemplo 2 - Instalaciones para la incineración de desechos municipales en el país**

**A. Características de las instalaciones y datos específicos del sitio**

- Situada en el país XX, un país en desarrollo en el Asia Pacífico;
- 100,000 toneladas métricas de desechos generales incineradas al año;
- Las instalaciones cuentan con un desecador de rocío (DR) y un PES para controlar la emisión de contaminantes;
- El tipo de horno es una unidad de “quema en masa”;
- No se cuenta con datos específicos del sitio sobre 1) el contenido específico del tipo de desechos incinerados, ni 2) control de eficiencia de la DR y el PES.

- Los residuos de los gases de salida se depositan en un relleno sanitario normal;
- Se determina que la etapa 1 del ciclo de vida debe incluirse (es decir, la combustión de desechos);
- Dadas las incertidumbres y limitaciones de datos, se usarán intervalos para los valores de entrada y los factores de distribución de las salidas.

**B. Determinar la tasa de actividad, los factores de entrada y los factores de distribución de las salidas**

**Tasa de actividad** = 100,000 toneladas métricas de desechos por año;

**Factor de entrada:** No se cuenta con datos locales específicos. Por lo tanto, se revisa la información en el capítulo 5 del instrumental y la información general sobre los tipos de desechos dispuestos en el país XX, los tipos y cantidades de desechos que podrían contener mercurio y cómo se comparan dichos desechos con otros países que sí disponen de datos (como EE.UU.). Después de considerar cuidadosamente la información disponible, se supone que los desechos contienen alrededor de 3 - 5 ppm de mercurio (4 ppm fue el valor típico en EE.UU. en 1989). Así, el factor de entrada para estas instalaciones de incineración de desechos municipales se encuentra en el rango de 3-5 ppm (o 3-5 mg Hg/kg) de mercurio en los desechos.

**La entrada total de mercurio a la incineración de desechos municipales** puede calcularse de la siguiente manera:

**Límite inferior estimado -**

(11)

<b>Entrada total de Hg al incinerador de desechos municipales</b>	=	<i>Tasa de actividad</i>	*	<i>Factor de entrada</i>	*	<i>Factor de conversión</i>	*	<i>Factor de conversión</i>	=	<b>300 kg Hg</b>
		100,000 toneladas métricas de desechos		3 mg Hg/kg desechos		1000 kg desechos/tonelada métrica de desechos		1 kg Hg/1.000,000 mg Hg		

**Límite superior estimado -**

(12)

<b>Entrada total de Hg al incinerador de desechos municipales</b>	=	<i>Tasa de actividad</i>	*	<i>Factor de entrada</i>	*	<i>Factor de conversión</i>	*	<i>Factor de conversión</i>	=	<b>500 kg Hg</b>
		100,000 toneladas métricas de desechos		5 mg Hg/kg desechos		1000 kg desechos/tonelada métrica de desechos		1 kg Hg/1.000,000 mg Hg		

**Factores de distribución:** Se considera lo siguiente para establecer factores de distribución:

No se identificaron datos sobre la eficiencia del control del DR y el PES. Se supone que la reducción de mercurio a partir del desecador de rocío y el PES se encuentra en el rango de 35% - 85% (es decir, 35 - 85 % del mercurio es capturado por dispositivos de control y el resto termina en los residuos del gas de salida), con base en la información de instalaciones similares en un país vecino.

Por lo tanto, los cálculos del límite inferior y el límite superior para los factores de distribución de liberaciones hacia todas las vías son:

	<b>Límite inferior estimado</b>	<b>Límite superior estimado</b>
<b>Aire =</b>	0.15	0.65
<b>Residuos de gases de salida (desechos generales) =</b>	0.85	0.35
<b>Agua =</b>	0.0	0.0
<b>Tierra =</b>	0.0	0.0
<b>Desechos específicos por sector =</b>	0.0	0.0

**C. Cálculo de las liberaciones de mercurio estimadas hacia cada vía (o medio)**

Las liberaciones provenientes de la planta de incineración de desechos municipales a todas las vías pueden calcularse con los rangos límite inferior y superior para el total de entradas de Hg y factores de distribución citados:

**Límite inferior estimado -**

(13) 

<b>Liberaciones al aire por incineración de desechos municipales</b>	=	$\frac{\text{Entrada total de Hg}}{300 \text{ kg Hg}}$	*	$\frac{\text{Factor de distribución al aire}}{0.15}$	=	<b>45 kg Hg</b>
--	---	--	---	--	---	-----------------

(14) 

<b>Liberaciones a rellenos de desechos generales por incineración de desechos municipales</b>	=	$\frac{\text{Entrada total de Hg}}{300 \text{ kg Hg}}$	*	$\frac{\text{Factor de distribución a los residuos sólidos de gases de salida}}{0.85}$	=	<b>255 kg Hg</b>
---	---	--	---	--	---	------------------

**Límite superior estimado -**

(15) 

<b>Liberaciones al aire por incineración de desechos municipales</b>	=	$\frac{\text{Entrada total de Hg}}{500 \text{ kg Hg}}$	*	$\frac{\text{Factor de distribución al aire}}{0.65}$	=	<b>325 kg Hg</b>
--	---	--	---	--	---	------------------

(16) 

<b>Liberaciones a los rellenos de desechos generales por incineración de desechos municipales</b>	=	$\frac{\text{Entrada total de Hg}}{500 \text{ kg Hg}}$	*	$\frac{\text{Factor de distribución a residuos sólidos de gases de salida}}{0.35}$	=	<b>175 kg Hg</b>
---	---	--	---	--	---	------------------

**D. Resumen de resultados – intervalos estimados de liberación a todas las vías**

Con base en lo anterior, el total estimado de liberaciones a todas las vías para todas las etapas es:

Aire =	45 a 325 kg Hg
Aguas residuales =	0
Rellenos de desechos generales (residuos de gases de salida) =	175 a 255 kg Hg
Tratamiento específico de desechos por sector =	0
Productos =	0
<b>Liberaciones totales a todos los medios/vías =</b>	<b>300 a 500 kg Hg.</b>

### E. Tabla con el resumen del total de las liberaciones de mercurio provenientes de un incinerador de desechos municipales en el país XX

A continuación se presenta una tabla que sintetiza el cálculo de liberaciones de mercurio para el ejemplo en consideración, usando la tabla que se sugiere en la sección 4.4.1.

Tabla 4-17 Ejemplo 2 – Combustión de desechos – resumen del cálculo de liberaciones de mercurio en el país XX

Combustión de carbón (central de energía)	Etapas del ciclo de vida - combustión de desechos	Suma de liberaciones a las vías provenientes de todas las etapas del ciclo de vida
<b>Tasa de actividad</b>	100,000 toneladas métricas de desecho	-
Factor de entrada por etapa	3-5 mg Hg/kg desecho	-
Entrada calculada por etapa	300 a 500 kg Hg	-
<b>Factores de distribución de salida para:</b>		NA
- Aire	0.15 a 0.65	NA
- Agua(/aguas residuales)	0.0	NA
- Tierra	0.0	NA
- Productos	0.0	NA
- Tratamiento de desechos generales (incluye rellenos)	0.35 a 0.85	NA
- Tratamiento específico de desechos por sector	0.0	NA
<b>Salidas/liberaciones calculadas hacia:</b>	0.0	
- El aire	45 a 325 kg Hg	45 a 325 kg Hg
- El agua (/aguas residuales)	0.0	0.0
- La tierra	0.0	0.0
- Los productos	0.0	0.0
- El tratamiento de desechos generales	175 a 255 kg Hg	175 a 255 kg Hg
- El tratamiento específico de desechos por sector	0.0	0.0

Notas: NA – no aplica.

#### 4.4.7.3 Ejemplo 3 – Pilas con mercurio en el país hipotético XYZ

##### A. Información destacada y datos específicos para el país

- Un país CEI con economía en transición, situado en la Comunidad de Estados Independientes;
- Una planta de producción de pilas situada en el país produce 10 toneladas métricas de pilas de óxido de mercurio al año con las siguientes características:
  - El aire de la sala de producción se ventila a través de un filtro de tela (FT) y un filtro de carbón activo;
  - El filtro de carbón activo se cambia con regularidad y los “filtros usados” se tratan como desechos peligrosos y se depositan en almacenes para el manejo de desechos peligrosos según lo estipulado en la normativa federal;
  - Los residuos FT se depositan en un relleno sanitario normal;
- En los últimos 4-5 años, el propietario de las instalaciones (Empresa ABC) exportó un promedio de 7 toneladas métricas anuales de las pilas de óxido de mercurio a varios países del mundo; las otras 3 toneladas métricas de la producción se comercializaron y usaron dentro del país XYZ;

- Con base en los datos/la información presentada en el instrumental, se calcula que las pilas de óxido de mercurio contienen alrededor de 32% de mercurio por peso húmedo;
- Las instalaciones reportan la compra de aproximadamente 2.0 toneladas métricas de mercurio elemental y 1.7 toneladas métricas de óxido mercúrico cada año como entrada al proceso productivo;
- No se dispone de otros datos locales específicos sobre la captura de mercurio en FT, filtros de carbón activo u otros factores;
- En el país XYZ no se producen otras pilas con contenido de mercurio;
- En los últimos diez años o poco más, XYZ ha importado y usado aproximadamente 15 toneladas métricas de otros tipos de pilas con contenido de mercurio (alcalinas, óxido de plata y zinc-aire) cada año;
- Con base en los datos/la información presentada en el instrumental, se calcula que las pilas alcalinas, de óxido de plata y zinc-aire contienen alrededor de 1% de mercurio por peso húmedo;
- La escasa información disponible indica que alrededor de 5-10% de las pilas usadas se recoge por separado y se envía a instalaciones especiales de tratamiento por sector;
- Alrededor de 80% se desecha en sistemas de recolección de desechos generales;
- El 10-15% restante se desecha de manera informal.

**B. Determinar la tasa de actividad, los factores de entrada y los factores de distribución de salidas para las diferentes etapas del ciclo de vida**

**I. Etapa 1 - Producción**

**a) Determinar la tasa de actividad, los factores de entrada y los factores de distribución de salidas para la etapa 1 – producción:**

**Tasa de actividad** = 10 toneladas métricas de pilas producidas por año;

**Factor de entrada:** A partir de esta información, el total de las pilas producidas cada año (es decir, 10 toneladas métricas) contiene alrededor de 3.2 toneladas métricas (es decir, 32%) de mercurio. Se supone que la mitad (1.6 toneladas métricas) es mercurio elemental y la otra mitad (1.6 toneladas métricas) es óxido mercúrico. Asimismo, la compañía reporta la compra de 2.0 toneladas métricas de mercurio elemental y óxido mercúrico que equivalen a un monto de mercurio elemental de 1.7 toneladas métricas cada año para las entradas, o un total de 3.7 toneladas métricas de mercurio. Por lo tanto, se calcula la “pérdida” de aproximadamente 0.5 toneladas métricas (es decir,  $3.7 - 3.2 = 0.5$  toneladas métricas de mercurio), o 13.5%, del total de entradas de mercurio durante la producción, y se supone que 0.4 toneladas métricas de las pérdidas se da en su forma elemental y 0.1 toneladas métricas en forma de óxido mercúrico.

Con base en la información anterior, se determina que el factor de entrada es 0.5 toneladas métricas de mercurio perdidas por 10 toneladas métricas de pilas producidas o 0.05 toneladas métricas de mercurio por tonelada métrica de pilas producidas;

La **entrada total de mercurio por producción de pilas** puede calcularse de la siguiente manera:

(17)

<b>Total de mercurio perdido por año por producción de pilas</b>	=	<i>Tasa de actividad</i> 10 toneladas métricas de pilas producidas por año	*	<i>Factor de entrada</i> 0.05 toneladas métricas de Hg perdido/tonelada métrica de pilas producidas	=	<b>0.5 toneladas métricas de Hg</b>
--	---	--	---	---	---	-------------------------------------

**Factores de distribución:**

Se estima que 0.1 toneladas métricas (o 20%) del total de las liberaciones de mercurio durante la producción se pierden como óxido mercúrico. Se supone que todas estas liberaciones de óxido mercúrico son pérdidas al aire dentro de la sala de producción. Además, se supone que la mayor parte (90%) de este óxido mercúrico queda capturada en el FT. Por lo tanto, la liberación estimada a residuos FT es 18% (es decir,  $0.20 * 0.90 = 0.18$ ), que termina en un relleno sanitario, y 2% (es decir,  $0.20 * 0.10 = 0.02$ ) se libera a la atmósfera a través del cañón de la chimenea. Nota: podría liberarse algo de mercurio al agua o la tierra, pero no se dispone de los datos correspondientes, por lo que se supone que todo el mercurio llega al aire.

Se estima que 0.4 toneladas métricas (80%) de las liberaciones de mercurio se emiten al aire de la sala de producción en su forma elemental. Se supone que la mayor parte de dicho mercurio (90%) queda capturada en un filtro de carbón activo. Por lo tanto, se calcula que 72% ( $0.80 * 0.90 = 0.72$ ) de las liberaciones de mercurio durante el proceso de producción termina en los desechos del filtro de carbón activo (y recibe el tratamiento específico del sector de desechos peligrosos) y que 8% ( $0.80 * 0.10 = 0.08$ ) se libera a la atmósfera a través del cañón de la chimenea.

Por lo tanto, los factores de distribución para la producción son:

Aire =	0.10 (0.02 + 0.08);
Desechos generales (rellenos sanitarios) =	0.18;
Tratamiento específico de desechos por sector =	0.72;
Agua =	0.0;
Productos =	0.0;
Tierra =	0.0;

**b) Salidas calculadas para la etapa 1 – producción:**

Las liberaciones provenientes de la producción de pilas pueden calcularse con la entrada total de Hg a partir de los factores de producción y distribución citados:

(18)	<b>Liberaciones al aire por producción de pilas</b>	=	$\frac{\text{Entrada total de Hg}}{0.5 \text{ toneladas métricas de Hg}}$	*	$\frac{\text{Factor de distribución}}{0.10}$	=	<b>0.05 toneladas métricas de Hg</b>
(19)	<b>Liberaciones a rellenos de desechos generales por producción de pilas</b>	=	$\frac{\text{Entrada total de Hg}}{0.5 \text{ toneladas métricas de Hg}}$	*	$\frac{\text{Factor de distribución}}{0.18}$	=	<b>0.1 toneladas métricas de Hg</b>
(20)	<b>Liberaciones a tratamientos específicos de desechos por sector por producción de pilas</b>	=	$\frac{\text{Entrada total de Hg}}{0.5 \text{ toneladas métricas de Hg}}$	*	$\frac{\text{Factor de distribución}}{0.72}$	=	<b>0.36 toneladas métricas de Hg</b>

**II. Etapa 2 – etapa de uso**

**a) Determinar la tasa de actividad, los factores de entrada y los factores de distribución de salidas para la etapa 2 – uso:**

Se esperan liberaciones muy limitadas durante el uso, por ende, las liberaciones en esta etapa pueden considerarse insignificantes y puede procederse a la etapa 3 (disposición).



**III. Etapa 3 – disposición**

**a) Determinar la tasa de actividad, los factores de entrada y los factores de distribución de salidas para la etapa 3 – disposición:**

**Tasa de actividad:** Alrededor de 3 toneladas métricas de pilas con óxido de mercurio consumidas (y dispuestas) cada año en el país XYZ, más 15 toneladas métricas de otros tipos de pilas que contienen mercurio (alcalinas, óxido de plata y zinc-aire) consumidas (y dispuestas) en el país XYZ cada año. Ya que no se cuenta con datos sobre las cantidades de pilas dispuestas y se considera que el consumo ha sido estable durante varios años, los datos de consumo se aplican como aproximados de los datos de disposición.

**Factores de entrada:** Las pilas de óxido de mercurio contienen 32% de este metal; las otras pilas mencionadas contienen alrededor de 1% de mercurio. Por lo tanto, los factores de entrada para ambos tipos de pilas son 0.32 toneladas métricas de Hg/tonelada métrica de pilas de óxido de mercurio dispuestas y 0.01 toneladas métricas de Hg/tonelada métrica de otras pilas que contienen Hg y han sido dispuestas, respectivamente.

Así, la **entrada total de mercurio proveniente de la disposición de pilas** puede calcularse de la siguiente manera:

(21)

<b>Entrada total de mercurio por la disposición de pilas</b>	<b>=</b>	<i>Tasa de actividad</i> 3 toneladas métricas de pilas HgO	<b>*</b>	<i>Factor de entrada</i> 0.32 toneladas métricas de Hg/tonelada métrica de pilas HgO dispuestas	<b>+</b>	<i>Tasa de actividad</i> 15 toneladas métricas de otras pilas que contienen Hg	<b>*</b>	<i>Factor de entrada</i> 0.01 toneladas métricas de Hg/tonelada métrica de otras pilas que contienen Hg y fueron dispuestas	<b>=</b>	<b>1.11 toneladas métricas de Hg</b>
--	----------	---	----------	--	----------	---	----------	--	----------	--------------------------------------

**Factores de distribución:** Como se mencionó antes, alrededor de 5-10% de las pilas se recoge por separado y se envía a instalaciones de tratamiento específico por sector; aproximadamente 80% se desecha con desechos generales y entre 10 y 15% se desecha de manera informal.

Por lo tanto, los factores de distribución para la disposición son:

- Aire = 0.0;
- Tratamiento específico de desechos por sector = 0.10;
- Sistemas de recolección de desechos generales = 0.80;
- Agua = 0.0;
- Tierra = 0.10 (desechados informalmente, se supone que a la tierra);

**b) Salidas calculadas para la etapa 3 – disposición:**

Las liberaciones provenientes de la disposición de pilas pueden calcularse con la entrada total de Hg a partir de la disposición de pilas y los factores de distribución citados:

(22)

<b>Liberaciones a tratamientos específicos de desechos por sector por disposición de pilas</b>	<b>=</b>	<i>Entrada total de Hg</i> 1.11 toneladas métricas Hg	<b>*</b>	<i>Factor de distribución</i> 0.10	<b>=</b>	<b>0.1 toneladas métricas Hg</b>
--	----------	--	----------	---------------------------------------	----------	----------------------------------

(23)	<b>Liberaciones a sistemas de recolección de desechos generales por disposición de pilas</b>	=	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;"><i>Entrada total de Hg</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1.11 toneladas métricas Hg</td></tr> </table>	<i>Entrada total de Hg</i>	1.11 toneladas métricas Hg	*	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;"><i>Factor de distribución</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0.80</td></tr> </table>	<i>Factor de distribución</i>	0.80	=	<b>0.9 toneladas métricas Hg</b>
<i>Entrada total de Hg</i>											
1.11 toneladas métricas Hg											
<i>Factor de distribución</i>											
0.80											
(24)	<b>Liberaciones a la tierra por la disposición informal de pilas</b>	=	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;"><i>Entrada total de Hg</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1.11 toneladas métricas Hg</td></tr> </table>	<i>Entrada total de Hg</i>	1.11 toneladas métricas Hg	*	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;"><i>Factor de distribución</i></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">0.10</td></tr> </table>	<i>Factor de distribución</i>	0.10	=	<b>0.1 toneladas métricas Hg</b>
<i>Entrada total de Hg</i>											
1.11 toneladas métricas Hg											
<i>Factor de distribución</i>											
0.10											

**C. Resumen de resultados – intervalos estimados de liberación para todas las vías**

Con base en lo anterior, el total estimado de liberaciones a todas las vías para todas las etapas es:

Aire =	0.05 toneladas métricas de mercurio;
Desechos generales (rellenos sanitarios) =	1.0 toneladas métricas de mercurio;
Tratamiento específico de desechos por sector =	0.46 toneladas métricas de mercurio;
Agua =	0;
Productos =	0;
Tierra =	0.1 toneladas métricas de mercurio;
<b>Liberaciones totales a todos los medios/vías =</b>	<b>1.61 toneladas métricas de mercurio</b>

**D. Tabla con el resumen del total de las liberaciones de mercurio provenientes del uso y la disposición de pilas que contienen mercurio en el país XYZ**

A continuación se presenta una tabla que sintetiza las liberaciones estimadas de mercurio para el ejemplo en cuestión con base en la tabla sugerida en la sección 4.4.1.

*Tabla 4-18 Ejemplo 3 – Producción y uso de pilas que contienen mercurio – resumen de liberaciones de mercurio estimadas en el país XYZ*

Pilas con mercurio en el país XYZ	Etapa del ciclo de vida		Suma de liberaciones a las vías provenientes de todas las etapas del ciclo de vida
	Producción	Disposición	
<b>Tasa de actividad</b>	10 toneladas métricas de pilas producidas por año	3 toneladas métricas de pilas de óxido de mercurio y 15 toneladas métricas de otros tipos de pilas consumidas	-
Factor de entrada para la etapa	0.05 toneladas métricas de Hg por tonelada métrica de pilas producidas.	0.32 kg de Hg liberados por kg de pilas de óxido mercúrico desechadas, y 0.01 kg de Hg liberados por kg de otros tipos de pilas desechadas	-
Entrada calculada por etapa	0.5 toneladas métricas de Hg perdidas durante la producción	1.11 toneladas métricas de Hg	-
<b>Factores de distribución de salidas por etapa:</b>			NA
- Aire	0.10	0.0	NA
- Agua (/aguas residuales)	0.0	0.0	NA
- Tierra	0.0	0.1	NA
- Productos	0.0	0.0	NA

Pilas con mercurio en el país XYZ	Etapa del ciclo de vida		Suma de liberaciones a las vías provenientes de todas las etapas del ciclo de vida
	Producción	Disposición	
- Tratamiento general de desechos (incluye rellenos)	0.18	0.8	NA
- Tratamiento específico de desechos por sector	0.72	0.1	NA
<b>Salidas/liberaciones calculadas hacia:</b>			
- El aire	0.05 toneladas métricas de Hg	0.0	0.05 toneladas métricas de Hg
- El agua (/aguas residuales)	0.0	0.0	0.0
- La tierra	0.0	0.1 toneladas métricas de Hg	0.1 toneladas métricas de Hg
- Los productos	0.0	0.0	0.0
- El tratamiento de desechos generales	0.1 toneladas métricas de Hg	0.9 toneladas métricas de Hg	1.0 toneladas métricas de Hg
- El tratamiento de desechos específicos por sector	0.36 toneladas métricas de Hg	0.1 toneladas métricas de Hg	0.46 toneladas métricas de Hg

Notas: NA – no aplica.

## 4.5 Paso 4: presentación del inventario

204. El cuarto y último paso consiste en la compilación del inventario normalizado de mercurio a partir de los resultados obtenidos en los pasos 1, 2 y 3. La sección 4.5.2 contiene un formato de presentación normalizado a fin de asegurar la consideración de todas las fuentes (aun cuando no sea posible cuantificarlas), la evidencia de lagunas de datos y la transparencia y posibilidad de comparar los inventarios. La presentación de los datos del inventario reviste una importancia crucial y también deberá estar armonizada para dar cabida a comparaciones significativas entre países.

205. Esta sección brinda orientación sobre el contenido del informe del inventario completo para presentar sus elementos básicos. Posteriormente, se dan sugerencias para la preparación de informes provisionales que pueden ser útiles durante la labor de inventario.

206. Esta orientación tiene por objetivo brindar asistencia en la elaboración de informes que contengan los resultados esenciales de los proyectos de inventario en formatos que sean útiles de manera inmediata a las personas a quienes están dirigidos.

### 4.5.1 Elementos clave del inventario

207. El informe completo del inventario habrá de identificar las principales actividades y procesos que causan liberaciones de mercurio, facilitar información sobre la naturaleza y alcance de los procesos vinculados a las liberaciones e identificar aquellos procesos para los cuales se han registrado lagunas de datos que deberán subsanadas en el futuro. Asimismo, se ocupará de las liberaciones al aire, al agua y a la tierra, en productos y residuos, en la mayor medida posible, aun cuando se reconocen importantes deficiencias en la cobertura y calidad de datos en algunas áreas. Deberán destacarse aquellos casos en los que no se cuente con datos medidos o información adecuada sobre las actividades (por ejemplo, estadísticas) a fin de darles seguimiento conforme se disponga de recursos financieros.

208. A continuación se presentan los elementos clave del informe del inventario.

#### Resumen:

209. El resumen debe incluir una breve descripción de las liberaciones significativas a todos los medios relevantes par alas principales categorías de fuentes identificadas en la matriz de selección.

Esta sección también debe incluir las liberaciones calculadas para las subcategorías importantes (en una tabla u otro formato que se considere adecuado) y un breve comentario sobre los resultados principales. Además, debe identificar las principales lagunas de datos, las principales vías de liberación y las áreas prioritarias para la recopilación de datos y la introducción de mejoras.

210. A manera de opción adicional, pueden presentarse las liberaciones en una tabla separada con un desglose diferente que incluya: 1) la movilización de impurezas de mercurio, 2) los usos intencionales de mercurio y 3) el tratamiento de desechos. Para ello, es necesario sumar las principales categorías y reasignar las liberaciones de mercurio de la extracción intencional de mercurio, la extracción de oro y plata, y el método de amalgamación de mercurio (si existe en el país).

#### **Inventario completo del país:**

211. Conformado por las liberaciones a todos los medios calculadas en el nivel de las subcategorías. Son preferibles los valores numéricos, pero también pueden darse indicaciones sobre la magnitud relativa de las liberaciones (es decir, una clasificación o graduación). Asimismo, habrán de identificarse las situaciones para las que no existan factores de emisión ni datos medidos específicos para la cuantificación de liberaciones. También deben identificarse las situaciones sin liberaciones. Si un proceso/actividad no existe en el país, deberá incluirse la frase “Esta actividad no se lleva a cabo en el país” a fin de mostrar que la actividad fue investigada pero no estaba presente. Del mismo modo, la leyenda “NE” o “no existe en el país” debe aparecer en las tablas generales que incluyen todas las fuentes potenciales para indicar las fuentes no presentes.

#### **Resumen y análisis categoría por categoría de fuente:**

212. El grueso del informe del país estará constituido por secciones dedicadas a cada una de las categorías investigadas y detalladas en las subcategorías. Cada subsección presentará información sobre el proceso básico, los enfoques y los medios empleados para investigar liberaciones potenciales provenientes de cada proceso, y presentará conclusiones preliminares.

213. Se espera que todas las secciones sean relativamente breves para que el informe final no sea demasiado voluminoso. Cada sección incluirá información clave. Puede ser conveniente separar las liberaciones de mercurio intencionales de las involuntarias en el informe final, sobre todo si la información sobre las liberaciones intencionales corresponde a datos cualitativos o básicamente de uso; para ello, sólo se requiere de una ligera reclasificación de categorías de fuentes en la parte correspondiente del informe. En algunos casos bastará la información sobre uso (consumo) para poner en práctica medidas de reducción de usos intencionales, como sucede con los productos que contienen mercurio.

#### **Datos detallados de apoyo:**

214. El inventario no deberá incluirse en el informe a fin de preservar la brevedad de este último. Las tablas con información detallada de evidente relevancia para los lectores pueden incluirse en apéndices. Asimismo, otros datos de apoyo deben organizarse y conservarse en el nivel nacional. Es importante recopilar y mantener los datos antecedentes detallados en el nivel nacional para su posterior revisión, evaluación y actualización.

#### **Información incompleta:**

215. Las lagunas de datos son comunes. Cuando la información esté incompleta, deberán usarse los datos disponibles a fin de contar con un cálculo aproximado de la actividad. Si la información es insuficiente para clasificar completamente todos los procesos, deberá presentarse un rango de liberaciones posibles. Si los supuestos conservadores arrojan cálculos muy altos, deberá procederse a una investigación más exhaustiva.

216. El siguiente ejemplo ilustra ese punto: la información inicial sobre el proceso indicó que todas las plantas operaban con controles de contaminación, aunque no se tenían datos precisos en cuanto al tipo de controles en vigor. En ese caso, puede ser adecuado tomar el rango de los factores de emisión

de las subcategorías para las plantas con controles de contaminación y excluir los factores de emisión para las plantas que carecen de controles. Así, se reduce la incertidumbre dentro del inventario y se contribuye a evidenciar las necesidades de recursos adicionales.

### **Conclusiones:**

217. Una breve sección en la que se sintetizan los siguientes puntos:

- Principales subcategorías que registran liberaciones de mercurio a cada uno de los medios;
- Resultados y evaluaciones de los balances para cotejar entradas/salidas de mercurio en caso de que se hayan llevado a cabo;
- Medidas en vigor para controlar estas liberaciones o cambios esperados en los procesos/las actividades que modificarán sustancialmente las liberaciones;
- Principales lagunas de datos y su importancia;
- Prioridades para evaluaciones posteriores, generación de datos, mediciones o medidas de política pública.

### **4.5.2 Estructura normalizada del informe**

218. La sección 9.1 del presente instrumental contiene un esquema con la estructura normalizada de un informe completo del inventario de mercurio.

### **4.5.3 Hoja de datos para el cálculo de las liberaciones**

219. A manera de complemento, se ofrece una hoja de cálculo Excel en formato electrónico a fin de facilitar el cálculo de entradas y salidas de los diferentes tipos de fuentes. En la sección 9.2 se proporcionan detalles adicionales respecto a dicha hoja de cálculo.

### **4.5.4 Sugerencias para la elaboración del informe provisional**

220. Al inicio del proceso puede prepararse un inventario provisional para:

- Propiciar la formulación de comentarios y la revisión del estudio en sus primeras etapas antes de comprometer recursos excesivos;
- Proporcionar valiosa información inicial comparativa en los ámbitos nacional, regional e internacional;
- Mostrar la magnitud potencial de las liberaciones a partir de las subcategorías significativas, y
- Establecer prioridades para orientar los esfuerzos subsecuentes de recopilación de datos.

221. El establecimiento de un inventario provisional puede ocurrir después de que se han identificado las principales fuentes y subcategorías presenten en el país (o región) y se hayan generado estadísticas de actividad (u otros indicios de su magnitud), pero antes de que se haya obtenido información detallada mediante ejercicios de compilación de datos.

222. El diseño del inventario provisional tiene el objetivo de ilustrar la magnitud de las posibles liberaciones a partir de procesos identificados y así favorecer el establecimiento anticipado de prioridades. Para cada fuente se obtendrá como resultado un indicador aproximado de la magnitud de las liberaciones de mercurio.

223. El inventario provisional podría incluir la siguiente información:

- Lista de todas las subcategorías que existan en el país;
- Tablas que sinteticen las estadísticas de actividad para cada subcategoría, particularmente aquellas que se espera sean significativas dentro del país, siempre y cuando la obtención de esa información no implique el uso excesivo de los recursos. Asimismo, deberán incluirse observaciones acerca de la forma en que se encontró o estimó dicha información;
- Tabla que muestre los rangos de los factores por defecto por subcategoría y los rangos de las liberaciones potenciales calculados con esos factores por defecto (tasa de actividad multiplicada por los factores de entrada y salida mínimo y máximo);
- Ilustración de los rangos potenciales de liberación por medio de un gráfico de barras para cada subcategoría con base en los factores de emisión por defecto.

224. El informe provisional identificará las subcategorías con probabilidad de representar fuentes significativas de usos y liberación de mercurio en el país, así como aquellas subcategorías para las que se requiere de información adicional, y puede brindar orientación acerca de dónde habrán de dirigirse los mayores esfuerzos en las siguientes etapas de compilación del inventario.

## **5 Descripciones detalladas de las fuentes de liberaciones de mercurio y factores de entrada y salida de mercurio**

225. Se debe tener en cuenta que las descripciones de las fuentes en cada subsección han sido redactadas como secciones independientes debido a la improbabilidad de que la sección 5 sea leída de una sola vez; por ello, los lectores encontrarán la duplicación de ciertos textos. La decisión de seguir este estilo editorial obedece a la importancia de ayudar a los lectores a encontrar toda la información necesaria sobre cada una de las fuentes sin referirlos de manera cruzada a otras secciones donde encontrarían información adicional.

226. Las observaciones para el uso de la información de la sección 5 para cuantificar las liberaciones de mercurio provenientes de cada una de las fuentes se encuentran en la sección 4.4. A fin de facilitar la aplicación práctica de la sección 5, a continuación se repite el índice correspondiente.

<b>Sección</b>	<b>Página</b>
<b>5.1 Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía</b>	<b>66</b>
5.1.1 Combustión de carbón en grandes cen	66
5.1.2 Otros usos de	75
5.1.3 Aceites minerales – extracción, refinación y uso	80
5.1.4 Gas natural – extracción, refinación y uso	88
5.1.5 Otros combustibles fósiles – extracción y uso	93
5.1.6 Energía a base de quema de biomasa y producción de calor	94
5.1.7 Producción de energía geotérmica	97
<b>5.2 Producción primaria (virgen) de m</b>	<b>99</b>
5.2.1 Extracción y procesamiento inicial de mer	99
5.2.2 Extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio	101
5.2.3 Extracción y procesamiento inicial de zinc	107
5.2.4 Extracción y procesamiento inicial de c	120
5.2.5 Extracción y procesamiento inicial de	128
5.2.6 Extracción y procesamiento inicial de oro mediante procesos distintos de la amalg	133
5.2.7 Extracción y procesamiento inicial de aluminio	138
5.2.8 Extracción y procesamiento de otros metales no ferrosos	140
5.2.9 Producción primaria de metales f	141
<b>5.3 Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercur</b>	<b>145</b>
5.3.1 Producción de cemento	145
5.3.2 Producción de pulpa y pap	152
5.3.3 Producción de cal y hornos de agregados li	155
5.3.4 Otros minerales y materiales	159
<b>5.4 Uso deliberado de mercurio en procesos industriale</b>	<b>160</b>
5.4.1 Producción de cloroálcali con tecnología de me	160
5.4.2 Producción de VCM (monómeros de cloruro de vinilo) con bicloruro de mercurio (HgCl <sub>2</sub> ) como catalizador	171
5.4.3 Producción de acetaldehídos con sulfato de mercurio (HgSO <sub>4</sub> ) como catalizador	173
5.4.4 Otras formas de producción de químicos y polímeros con compuestos de mercurio como catalizadores	174

5.5	Productos de consumo con uso deliberado de mercurio	175
5.5.1	Termómetros con mercurio	175
5.5.2	Interruptores eléctricos y relevadores con mercurio	183
5.5.3	Fuentes de luz con mercurio	193
5.5.4	Pilas con mercurio	201
5.5.5	Biocidas y pesticidas	207
5.5.6	Pinturas	209
5.5.7	Productos farmacéuticos de uso humano y veterinario	212
5.5.8	Cosméticos y productos rela	213
<b>5.6</b>	<b>Otros usos deliberados en productos/pr</b>	<b>217</b>
5.6.1	Amalgamas dentales de mercurio	217
5.6.2	Manómetros y medidore	223
5.6.3	Químicos y equipos de laboratorio	225
5.6.4	Uso del metal mercurio en rituales religiosos y medicina tra	230
5.6.5	Usos de productos misceláneos, usos de metal mercurio y otras fuentes	230
5.7	Producción de metales reciclados (producción “secundaria” de	232
5.7.1	Producción de mercurio reciclado (“producción secundaria”)	232
5.7.2	Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y ac	235
5.7.3	Producción de otros metales recicla	237
<b>5.8</b>	<b>Incineración de de</b>	<b>239</b>
5.8.1	Incineración de desechos municipales/ge	239
5.8.2	Incineración de desechos peligr	248
5.8.3	Incineración de desechos médicos	250
5.8.4	Incineración de lodos cloa	255
5.8.5	Incineración informal de de	258
<b>5.9</b>	<b>Disposición de desechos/rellenos sanitarios y tratamie</b>	<b>260</b>
5.9.1	Rellenos sanitarios/depósitos controlados	260
5.9.2	Disposición difusa con cierto grado de control	265
5.9.3	Disposición local informal de los desechos de la producción industrial	265
5.9.4	Vertederos informales de desecho	266
5.9.5	Sistemas/tratamiento de aguas residuales	266
<b>5.10</b>	<b>Crematorios y c</b>	<b>272</b>
5.10.1	Crematorio	272
5.10.2	Cementerio	275
<b>5.11</b>	<b>Identificación de puntos calientes p</b>	<b>278</b>



## 5.1 Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía

227. Esta categoría principal incluye centrales de energía, hornos industriales e instalaciones para la calefacción de espacios, alimentadas con combustibles fósiles (incluida la co-combustión de hasta 1/3 de desechos), biogas y gas de rellenos sanitarios incluido, y biomasa. Asimismo, incluye la extracción de gas natural, aceite mineral y otros combustibles fósiles. La tabla 5-1 muestra las siete subcategorías que comprende esta categoría principal. Las principales vías de liberación de mercurio son el aire, el agua y los desechos/residuos. La tierra también puede constituir una vía de liberación en el caso de la calefacción y la cocina domésticas, ya sea por el uso de biomasa (principalmente madera) o combustibles fósiles, y por la extracción de aceite mineral. Además, las liberaciones a la tierra pueden ocurrir si se vierten desechos contaminados al suelo (PNUMA, 2003).

Tabla 5-1 Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/residuo	Principal enfoque para el inventario
5.1.1	Combustión de carbón en grandes centrales de energía	X	x	x	x	X	FP
5.1.2	Otros tipos de combustión de carbón	X		x	x	x	EG
5.1.3	Extracción, refinación y uso de aceite mineral	X	X	x	x	x	EG/FP
5.1.4	Extracción, refinación y uso de gas natural	X	X	X	x	X	EG/FP
5.1.5	Extracción y uso de otros combustibles fósiles	X	x	x		x	EG
5.1.6	Calderas alimentadas por biomasa y producción de calor	X	x	x		x	EG
5.1.7	Producción de energía geotérmica	X					FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.1.1 Combustión de carbón en grandes centrales de energía

#### 5.1.1.1 Descripción de la subcategoría

228. El carbón se usa para la producción de calor y electricidad en diversos sectores con diversas tecnologías de combustión. Las materias primas naturales, incluido el carbón, contienen cantidades traza de mercurio, el cual se libera térmicamente durante la combustión.

229. Esta subcategoría incluye las grandes plantas de combustión (por lo general con capacidad térmica en calderas superior a los 300MW). La mayoría de estas plantas son centrales de energía a gran escala; algunas de ellas también suministran calor (calefacción urbana, etc.). La razón detrás de la descripción por separado de estas grandes centrales alimentadas por carbón es que en muchos países representan importantes porciones del consumo nacional de carbón y que frecuentemente están equipadas con grandes sistemas de configuración individual para la reducción de emisiones. Estos equipos capturan parte de las salidas de mercurio y disminuyen la liberación directa a la atmósfera. En muchos casos, las plantas pequeñas de combustión de carbón no están equipadas con el mismo tipo de dispositivos para la reducción de emisiones.

230. Algunas plantas para la generación de energía alimentadas por combustibles fósiles tienen posibilidades de usar aceite mineral y otros combustibles a base de carbón, pero esta sección se concentra en el carbón como elemento que acusa las mayores concentraciones de mercurio. Las secciones 5.1.3 y 5.1.4 están dedicadas a la combustión de aceite mineral y gas respectivamente.

### 5.1.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y emisiones de mercurio

Tabla 5-2 Principales liberaciones y medios receptores de la combustión en grandes centrales de energía

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Combustión	X	x	x	x	X	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

231. Las concentraciones de mercurio en el carbón usado constituyen el principal factor para determinar las liberaciones provenientes de este sector. La mayor parte del mercurio en el carbón se libera térmicamente en forma gaseosa durante el proceso de combustión. El lavado del carbón previo a la combustión que se acostumbra en algunos países (originalmente introducido para retirar parte del azufre del carbón) puede retirar parte del mercurio y requiere de sistemas adecuados de limpieza/retención para conservar el mercurio después del proceso de lavado.

232. Otro de los factores principales es el sistema aplicado para la reducción de emisiones. Los equipos postcombustión para la desulfuración de los gases de salida, des-NO<sub>x</sub> y retención de partículas, usados ampliamente en los países industrializados en la actualidad, retienen partes de mercurio que de otra manera serían emitidas. La retención varía entre los principales tipos de filtros, pero también entre las plantas de combustión aun cuando tengan las mismas configuraciones de filtros. Las configuraciones diseñadas para la óptima retención de mercurio todavía no son comunes, pero algunos países están trabajando en su desarrollo/maduración (por ejemplo Suecia y Estados Unidos).

233. La tecnología de combustión y los tipos de carbón también influyen en la eficiencia de los sistemas de limpieza de los gases de salida y, por ende, en las liberaciones directas.

234. Por ejemplo, los tipos de carbón con alto contenido de cloruro y condiciones de combustión que favorecen la oxidación del mercurio en el gas de escape producen mayor retención de mercurio en los sistemas de desulfuración de gases de salida de uso común en los países industrializados. Las unidades que queman carbón bituminoso o que registran carbón residual alto en el gas de salida muestran niveles más altos de retención de mercurio en filtros de partículas y depuradores (PNUMA, 2002). Si se requiere de información más detallada sobre diferentes principios de combustión en las plantas, véase por ejemplo US EPA (1997a) y US EPA (2002a).

235. Las salidas de mercurio de este sector se distribuyen de la siguiente manera: 1) emisiones al aire; 2) acumulación en residuos sólidos de incineración y residuos de la limpieza de gases de salida, y 3) posiblemente liberaciones menores al agua (sólo a través de los sistemas de tecnología de limpieza de gases húmedos de salida o prelavado de carbones). Debe destacarse que, al igual que otras formas de disposición de desechos con contenido de mercurio, los residuos sólidos de la combustión de carbón en las centrales de energía son proclives a causar liberaciones de mercurio. La magnitud de esas liberaciones depende del nivel de control del depósito para minimizar las liberaciones de mercurio al aire, el agua y la tierra década tras década.

236. En cuanto a la situación general en Estados Unidos, Canadá y Europa Occidental, alrededor de la mitad de las entradas de mercurio se liberan con emisiones al aire, en tanto la otra mitad se retiene en los residuos de la limpieza de gases de salida y sólo una pequeña parte es generalmente retenida en

cenizas de fondo/escoria. Dependiendo de los sistemas de limpieza de gases de salida empleados, los residuos y derivados que contienen mercurio pueden ser cenizas volantes, producto sólido de reacción sulfúrica para disposición (a partir de depuradores secos o húmedos), tablarroca con yeso (comercializada) y ácido sulfúrico (también comercializado).

237. En el caso de las plantas de combustión que no disponen de equipos para la reducción de emisiones o que solamente cuentan con retención de partículas grandes (retención PES), todas o casi todas las entradas de mercurio serán liberadas directamente a la atmósfera. Es así porque, a diferencia de la mayoría de los metales pesados, la mayor parte del mercurio en los gases de escape permanece en la etapa gaseosa (o es absorbido a partículas pequeñas si las temperaturas caen por debajo de ciertos niveles durante el transporte a través del sistema de escape del gas). No obstante, los filtros de tela y otros filtros de alta eficiencia para la retención de partículas han retenido altos porcentajes de las entradas de mercurio en determinadas condiciones.

### 5.1.1.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-3 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la combustión de carbón en grandes centrales de energía

Datos necesarios sobre tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Cantidad quemada de cada tipo de carbón	Concentración de mercurio en cada tipo de carbón quemado

238. Los estimados detallados del consumo nacional de diferentes tipos de combustibles, en cantidades totales y por sector, están disponibles en la página web de la Agencia Internacional de la Energía <http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>. En el caso del carbón, el consumo también aparece distribuido de acuerdo con los principales tipos de carbón (bituminoso, lignita, etc.).

239. La concentración de mercurio en el carbón varía considerablemente en función del tipo de carbón y su origen, e incluso dentro de la misma mina. Por ejemplo, las concentraciones de mercurio pueden variar en una orden de magnitud o más dentro de la misma zona minera (Pirrone *et al.*, 2001). Los datos disponibles indican que las concentraciones de mercurio en los carbones varían entre 0.01 - 8.0 ppm. El Servicio Geológico de Estados Unidos (Bragg *et al.*, 1998) reporta concentraciones medias de mercurio en 7000 muestras de carbón estadounidense de 0.17 mg/kg, donde 80% están por debajo de 0.25 mg/kg y el valor único más alto registrado es de 1.8 mg/kg. La tabla 5-4 muestra otros ejemplos de concentraciones de mercurio en carbón y las fuentes de los datos.

Tabla 5-4 Ejemplos de concentraciones en carbón de diferentes tipos y orígenes (mg/kg o ppmwt; referencias a los datos en las notas de la tabla)

Origen geográfico	Tipo de carbón	Concentración media de Hg	Desviación estándar sobre la media	Rango de concentraciones de Hg, el número de muestras aparece en paréntesis	Referencia
Alemania	Bituminoso			0.7-1.4	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
Argentina	Bituminoso	0.1		0.03 y 0.18 (2)	Finkelman, 2004
Australia	Bituminoso			0.03-0.4	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
Botswana	Bituminoso	0.09		0.04-0.15 (11)	Finkelman, 2004
Brasil	Bituminoso	0.19		0.04-0.67 (4)	Finkelman, 2004
China	Antracita+	0.15		<0.0-0.69 (329)	Finkelman, 2004

Origen geográfico	Tipo de carbón	Concentración media de Hg	Desviación estándar sobre la media	Rango de concentraciones de Hg, el número de muestras aparece en paréntesis	Referencia
	Bituminoso				
Colombia	Subbituminoso	0.04		>0.02-0.17 (16)	Finkelman, 2004
Corea del Sur	Antracita	0.3		<0.02- 0.88 (11)	Finkelman, 2003
Egipto	Bituminoso	0.12		0.04-0.36 (14)	Finkelman, 2003
Estados Unidos*1	Subbituminoso	0.10	0.11	0.01-8.0 (640)	Misma observación que para Estados Unidos, bituminoso
Estados Unidos*1	Lignita	0.15	0.14	0.03-1.0 (183)	Misma observación que para Estados Unidos, bituminoso
Estados Unidos*1	Bituminoso	0.21	0.42	<0.01-3.3 (3527)	Considerados en la referencia (US EPA, 1997a) como típicos valores “subterráneos” para el carbón en EE.UU., probablemente en conc. en peso húmedo (?)
Estados Unidos*1	Antracita	0.23	0.27	0.16-0.30 (52)	Misma observación que para Estados Unidos, bituminoso
Filipinas	Subbituminoso	0.04		<0.04-0.1	Finkelman, 2004
Indonesia	Lignita	0.11		0.02-0.19 (8)	Finkelman, 2003
Indonesia *2	Subbituminoso	0.03	0.01	0.01-0.05 (78)	“Quemado en 1999” en EE.UU.; concentraciones de peso seco; se desconoce el origen exacto, no se presenta si es representativo del origen
Japón	Bituminoso			0.03-0.1	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
Nueva Zelanda	Bituminoso			0.02-0.6	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
Perú	Antracita+Bituminoso	0.27		0.04-0.63 (15)	Finkelman, 2004
Polonia	Bituminoso			0.01-1.0	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
Reino Unido	Bituminoso			0.2-0.7	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
República Checa	Bituminoso	0.25		<0.02-0.73 (24)	Finkelman, 2003
República Eslovaca	Bituminoso	0.08		0.03-0.13 (7)	Finkelman, 2004
Rumania	Lignita+Subbituminoso	0.21		0.07-0.46 (11)	Finkelman, 2004
Rusia	Bituminoso	0.11		<0.02-0.84 (23)	Finkelman, 2003
Sudáfrica	Bituminoso			0.01-1.0	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
Sudamérica *2	Bituminoso	0.08	0.07	0.01-0.95 (269)	“Quemado en 1999” en EE.UU.;

Origen geográfico	Tipo de carbón	Concentración media de Hg	Desviación estándar sobre la media	Rango de concentraciones de Hg, el número de muestras aparece en paréntesis	Referencia
					concentraciones de peso seco; se desconoce el origen exacto, no se presenta si es representativo del origen
Tailandia	Lignita	0.12		0.02-0.57 (11)	Finkelman, 2003
Taiwán	Antracita/Bituminoso	0.67		0.07-2.3 (4)	Finkelman, 2004
Tanzania	Bituminoso	0.12		0.04-0.22 (15)	Finkelman, 2004
Turquía	Lignita	0.11		0.03-0.66 (143)	Finkelman, 2004
Ucrania	Bituminoso	0.07		0.02-0.19 (12)	Finkelman, 2003
Vietnam	Antracita	0.28		<0.02-0-14 (3)	Finkelman, 2004
Zambia	Bituminoso	0.6		<0.03-3.6 (12)	Finkelman, 2004
Zimbabwe	Bituminoso	0.08		<0.03-0.5 (3)	Finkelman, 2004
Yugoslavia	Lignita	0.11		0.07-0.14 (3)	Finkelman, 2004

Notas: \*1 Referencia: US EPA (1997a); \*2 US EPA (2002a); Apéndice A.

240. Algunas centrales de combustión de carbón también queman desechos y éstos podrían contener mercurio. La sección 5.8 (incineración de desechos) incluye una descripción de mercurio en desechos. En aquellos casos en que se incineren desechos en las centrales de energía a base de combustión de carbón que se estén evaluando, el cálculo de las liberaciones debe considerar también la suma de las entradas calculadas de mercurio a partir de los desechos.

#### 5.1.1.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

241. Si se aplica el prelavado de carbón puede reducirse el contenido de mercurio del carbón en 10-50% en comparación con el contenido original (PNUMA, 2002). La US EPA (1997a) reporta un valor medio de remoción de mercurio de 21% para el carbón prelavado en centrales de Estados Unidos.

242. Muchos estudios han investigado la eficiencia de los sistemas de reducción de emisiones para retener el mercurio de los gases de escape de las centrales de energía a base de quema de carbón en muy distintas configuraciones de equipos. Como ya se mencionó, la eficiencia varía considerablemente, incluso dentro del mismo tipo de condiciones de combustión y principios para la reducción de emisiones. Por lo tanto, las mediciones específicas de fuente puntual para la eficiencia de control constituyen el enfoque preferido para el inventario, siempre que ello sea posible y factible.

243. Pacyna reporta que algunos **sistemas DGS húmedos** no tienen la capacidad de remover más de 30% del mercurio en los gases de salida, pero en términos generales la eficiencia de la remoción está en rango de 30 a 50% (Pacyna y Pacyna, 2000, citado en PNUMA, 2002). Datos de Estados Unidos reportan algunas remociones de mercurio superiores a 80% con el uso de sistemas DGS húmedos para controlar las emisiones de mercurio en quemadores eléctricos a base de carbón (Oficina de Investigación y Desarrollo de la US EPA, disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/atw/utility/hgwhitepaperfinal.pdf> )

244. La figura 5-1 presenta un ejemplo de la distribución relativa de mercurio entre las diferentes etapas/salidas de un quemador de carbón (Pacyna y Pacyna, 2000, citado en PNUMA, 2002).

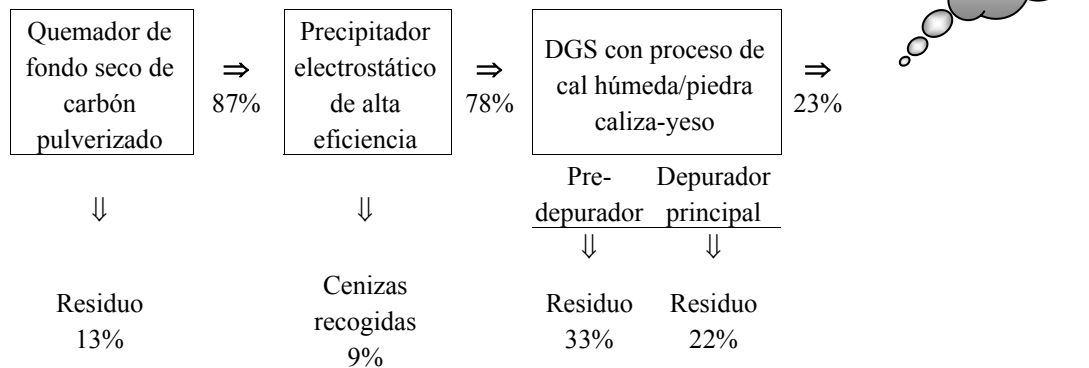


Figura 5-1 Reducir las emisiones de mercurio con sistemas húmedos de DGS; flujos y salidas de mercurio en % de entradas de mercurio al quemador con base en Pacyna y Pacyna (2000) (figura tomada de PNUMA, 2002)

245. En Escandinavia y Estados Unidos se ha investigado la retención de mercurio en fase de vapor mediante **desecadores de rocío** en combustores de carbón e incineradores. En resumen, la remoción total de mercurio en diversos sistemas de secado por rocío está en el rango de 35 a 85%. Las mayores eficiencias de remoción se registraron en sistemas de secado por rocío que contaban con filtros de salida hechos de tela (Pacyna y Pacyna, 2000, citado en PNUMA, 2002).

246. Según el resumen de condiciones en Dinamarca (basadas en los balances de masas), la distribución general de salidas de mercurio en centrales de energía con control de partículas (MP) y la desulfurización de gases húmedos de salida (DGS) se calcula en aproximadamente 50% de retención con control MP, 20% de retención con residuos de la desulfurización y 30% de liberación a la atmósfera. Los cálculos generales para centrales de energía con control MP y DGS semiseco fueron similares: aproximadamente 50% de retención con control MP, 25% de retención con residuos de la desulfurización y 25% de liberación a la atmósfera. En el caso de las pocas centrales que sólo cuentan con control MP, aproximadamente 50% fue retenido por ese medio y el resto fue liberado a la atmósfera (Skårup *et al.*, 2003).

247. En otro ejemplo, la US EPA (2002a) realizó investigaciones sobre la retención de mercurio en varias instalaciones con quemadores de carbón pulverizado en Estados Unidos con diferentes equipos para la reducción de emisiones y diferentes tipos de carbón quemados en el país. La síntesis de los resultados obtenidos aparece en la tabla 5.5. Si desea más detalles, consulte la publicación de la US EPA (2002a).

248. Se han desarrollado varias series de factores de emisión de mercurio sólo a la atmósfera a partir de la combustión de carbón en centrales de energía, por ejemplo en Estados Unidos (véase US EPA, 1997 o US EPA, 2002a) y Europa (EMEP/CORINAIR, 2001). Sin embargo, se presentan como factores únicos de emisión para diversas condiciones, no aparecen divididos en factores de entrada y factores de distribución de salidas, lo que sí ocurre con el presente instrumental.

Tabla 5-5 Resumen de resultados de la reciente investigación de la US EPA sobre la retención de mercurio en diferentes sistemas para la reducción de emisiones. Captura promedio de mercurio en % de entradas de mercurio al dispositivo de reducción (US EPA, 2002a)

Estrategia de control postcombustión	Configuración del dispositivo de control de emisiones postcombustión	Captura promedio de mercurio por configuración del control (el no. de pruebas en estudio aparece entre paréntesis)		
		Carbón quemado en unidad con quemador de carbón pulverizado		
		Carbón bituminoso	Carbón subbituminoso	Lignita
Sólo control MP	PES-LF	36 % (7)	3 % (5)	- 4 % (1)
	PES-LC	9 % (4)	6 % (4)	No se hicieron pruebas
	FT	90 % (4)	72 % (2)	No se hicieron pruebas
	DP	No se hicieron pruebas	9 % (1)	No se hicieron pruebas
Control MP y adsorbedor del desecador de rocío	SAD+ESP	No se hicieron pruebas	35 % (3)	No se hicieron pruebas
	SAD+FT	98 % (3)	24 % (3)	0 % (2)
	SAD+FT+RCS	98 % (1?)	No se hicieron pruebas	No se hicieron pruebas
Control MP y sistema DGS húmedo (a)	DP+DGS	12 % (1)	-8 % (4)	33 % (1)
	PES-LF+DGS	74 % (1)	29 % (3)	44 % (2)
	PES-LC+DGS	50 % (1)	29 % (5)	No se hicieron pruebas
	FT+DGS	98 % (2)	No se hicieron pruebas	No se hicieron pruebas

(a) Captura estimada en ambos dispositivos de control;  
 RCS – Reducción catalítica selectiva; PES-LF – Precipitador electrostático de lado frío;  
 PES-LC – Precipitador electrostático de lado caliente; FT – Filtro de tela;  
 DP – Depurador de partículas; SAD – Sistema de adsorción con desecador de rocío;  
 DGS – Desulfurización de los gases de salida

### 5.1.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

249. A partir de los ejemplos compilados hasta ahora sobre las concentraciones de mercurio en carbón y la información sobre la eficiencia de los sistemas para la reducción de emisiones ya presentada, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos. Asimismo, los factores por defecto reflejan criterios expertos basados únicamente en datos sintetizados y, hasta ahora, no se ha aplicado ningún enfoque cuantitativo sistemático (es decir,

concentración ponderada por consumo y derivación de factores de distribución) en el desarrollo de los factores.

250. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

251. Tomando en cuenta la gran variación presentada tanto en las concentraciones de mercurio en carbón y en la eficiencia de los sistemas para la reducción de emisiones en el caso específico del mercurio, se prefiere el enfoque de uso de datos específicos por fuente, siempre que ello sea factible. Si desea orientación sobre la recopilación de datos, consulte la sección 4.4.5.

**a) Factores por defecto de entrada de mercurio**

252. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en la composición particular de carbón usado arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones. Si no se dispone de datos para el carbón usado, entonces pueden aplicarse los valores o rangos promedio a partir de los datos sobre otros tipos similares de carbón (véanse los ejemplos en la tabla 5-4).

253. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en los concentrados usados durante la etapa de extracción, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto seleccionados en la tabla 5-6 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto). Si se decide no calcular en forma de intervalos, el uso del valor máximo se recomienda a fin de detectar la posible importancia de la categoría de fuente para investigaciones ulteriores. La aplicación de un estimado máximo no implica automáticamente que las liberaciones reales tengan esa magnitud, sólo señalan la conveniencia de realizar más investigaciones.

Tabla 5-6 Factores *preliminares* de entrada por defecto para el mercurio en carbón para la producción de energía

Material	Factores de entrada por defecto; g de mercurio por tonelada métrica de concentrado; (mínimo - máximo)
Carbón usado en la producción de energía	0.05 - 0.5

254. En relación con las tasas de actividad, la información más necesaria es la cantidad de cada tipo de carbón quemado en un año. Si no se dispone directamente de esos datos, es posible derivar un estimado a partir de los datos sobre el valor de producción de calor del carbón (expresado en unidades como kJ/l o kJ/kg) y de los datos sobre la producción total de energía para el año (kJ/año). No hay que olvidar la necesidad de basar los estimados en el contenido energético primario del carbón (no en la cantidad de energía que reciben los usuarios; esta última no suele incluir las pérdidas en la producción y la transmisión, por lo tanto, no refleja adecuadamente el consumo de carbón).

**b) Factores por defecto de distribución de salidas de mercurio**

Tabla 5-7 Factores *preliminares* de distribución por defecto en las salidas de mercurio a partir de la combustión de carbón en grandes centrales de energía

Dispositivo para la reducción de emisiones	Factores de distribución, porción de las entradas de Hg *4
--	--



	Aire	Agua *1	Tierra *3	Productos *3	Desechos generales *5	Tratamiento/ disposición específicos por sector *5
Ninguno	1					
Lavado de carbón *1	0.8 (vía combustión)	?	?		0.2	
Control MP con PES general o DP	0.9		?	?	0.1	
Control MP con FT u otro con alta eficiencia en la retención MP	0.5		?	?	0.5	
Control MP y SAD	0.4		?	?	0.6	
Control MP y DGS húmedo	0.5		?	?	0.5	

Notas: \*1 Podrían registrarse emisiones al agua de no retenerse todo el Hg en los residuos de los medios de lavado. Si se aplica el lavado de carbón en combinación con los dispositivos para la limpieza de los gases de salida, el factor de salida del mercurio designado para el aire debe calcularse multiplicando el factor de reducción por lavado de carbón con los factores correspondientes al dispositivo de control de salidas.

\*2 Dependiendo de los sistemas de limpieza de gases de salida que se apliquen, partes del mercurio que de otra manera sería depositadas como residuo podrían seguir a los derivados comercializados (principalmente tablarroca con yeso, cemento/concreto y ácido sulfúrico).

\*3 En caso de que los residuos no sean depositados cuidadosamente, podría considerarse que son liberados a la tierra.

\*4 La US EPA (2002a) señala que la eficiencia de los sistemas para la reducción de emisiones de mercurio depende en gran medida del tipo de carbón. Ya que no se dispone actualmente de medidas de eficiencia representativas internacionalmente *versus* tipos de carbón consumido para incluirlas en el presente instrumental sobre mercurio, los factores de distribución de liberaciones sugeridos no toman en cuenta dicha relación.

\*5 La disposición específica por sector puede incluir la disposición en rellenos sanitarios especiales asegurados, rellenos sanitarios especiales sin seguridad de lixiviación y un uso más difuso en la construcción de caminos u otras obras. La distribución real entre disposición con desechos generales (rellenos sanitarios ordinarios) y disposición específica por sector tiende a variar mucho entre los países y es necesario recoger información concreta sobre los procedimientos de disposición de cada localidad.

### c) Enlaces a otras fuentes para el cálculo de mercurio

255. No se sugieren enlaces.

#### 5.1.1.6 Principales datos por fuente

256. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en la mezcla de carbones quemados en las instalaciones;
- Datos sobre la cantidad de cada tipo de carbón quemado en las instalaciones, y
- Datos medidos sobre equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

257. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

### 5.1.1.7 Resumen del enfoque general para el cálculo de liberaciones

258. El enfoque general para calcular las liberaciones de mercurio a cada una de las vías a partir de la combustión de carbón en grandes centrales eléctricas es el siguiente:

$$\begin{array}{ccc} \text{Factor de entrada} & & \text{Tasa de actividad} & & \text{Factor de} \\ \text{(concentración de Hg} & * & \text{(cantidad de cada tipo de} & * & \text{distribución} \\ \text{en los tipos de carbón usados} & & \text{carbón quemada por año)} & & \text{para cada vía} \\ \text{en las instalaciones)} & & & & \end{array}$$

y el total de liberaciones es la suma de liberaciones a cada vía.

## 5.1.2 Otros usos de carbón

### 5.1.2.1 Descripción de la subcategoría

259. Esta subcategoría cubre la combustión de carbón en pequeñas instalaciones de combustión (por lo general, con capacidad térmica en calderas inferior a los 300MW), incluidas las calderas/la combustión industrial en diversos sectores, el uso doméstico del carbón y el carbón residual para calefacción y cocina, así como la producción y el uso de carbón residual para otros usos, por ejemplo, para procesos metalúrgicos.

260. De acuerdo con la Estrategia Comunitaria sobre el Mercurio, publicada por la Comisión Europea (Comisión Europea, 2005), las pequeñas instalaciones de combustión y la quema doméstica de carbón también constituyen fuentes importantes de mercurio. En particular, dentro de la UE se identificaron instalaciones de combustión en pequeña escala, una región donde muchas de las grandes centrales disponen de controles relativamente significativos, como un importante factor adicional de contribución al problema del mercurio, aunque los datos disponibles al momento son escasos.

261. El carbón residual de petróleo se produce a partir del carbón duro o del carbón café o moreno mediante carbonización (carbón en vacío). En los “hornos de coque”, el carbón se coloca en grandes recipientes que se someten a calor externo hasta alcanzar una temperatura aproximada de 1,000°C en ausencia de aire. El carbón residual se saca del horno y se enfría con agua. Uno de los principales usos del carbón residual de petróleo, por lo menos en los países industrializados, se encuentra en la industria metalúrgica (metales ferrosos y no ferrosos).

### 5.1.2.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y emisiones de mercurio

Tabla 5-8 Principales liberaciones y medios receptores de “otras” formas de combustión de carbón

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho general	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Otros usos del carbón	X		x	x	x	x

Notas: X -Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

262. Los principales factores que determinan las liberaciones en instalaciones pequeñas de combustión de carbón (como las calderas industriales) son similares a los factores que influyen en las grandes centrales de energía a base de quema de carbón descritas con anterioridad. Sin embargo, el uso de equipos para la limpieza de gases de salida es menos común en las pequeñas instalaciones de combustión y prácticamente inexistente en el caso de la combustión doméstica (COWI, 2002). Por lo tanto, en términos generales, la porción de mercurio que se libera al aire es mayor.

263. En el caso de las fuentes con tecnologías mínimas de control o sin tecnologías de control, casi todo el mercurio presente en el carbón tiene probabilidades de ser emitido al aire. La mayor parte del mercurio en el carbón se libera térmicamente en forma gaseosa durante el proceso de combustión en el caso de la producción de calor y energía. Sin embargo, pueden usarse equipos postcombustión para la desulfurización de los gases de salida, des-NO<sub>x</sub> y retención de partículas en algunas de las grandes instalaciones de combustión en este grupo, reteniendo partes de mercurio que de otra manera serían emitidas. Además del contenido de mercurio en el carbón usado, otros factores determinan la cantidad de mercurio liberado y la distribución de las salidas de mercurio entre emisiones atmosféricas, acumulación en incineración de sólidos y residuos de limpieza de gases de salida, y liberaciones al agua (sólo indirectamente al agua vía algunos tipos de tecnología para la limpieza de gases de salida), como el tipo de carbón, la tecnología de combustión y particularmente cualesquiera sistemas de limpieza de gases de salida que se apliquen, si es que se aplican (COWI, 2002). En el caso de las grandes instalaciones de combustión del grupo, la tecnología para la limpieza de los gases de salida puede ser similar a la que se encuentra en instalaciones de combustión con capacidad térmica en calderas (de o) superior a los 300 MW (megavatios), como se describe en la sección 5.1.1.

264. En lo que respecta a la producción de carbón residual de petróleo, las emisiones al aire pueden ocurrir durante la carga y descarga del carbón/carbón residual y durante el proceso de calentamiento. Ya que las emisiones no se liberan a través de una chimenea, la dificultad para medir los factores de emisión implica cierta incertidumbre sobre su precisión. Las liberaciones al agua pueden tener lugar si se descargan los efluentes del proceso de enfriamiento o depuración húmeda.

265. Las salidas de mercurio de esta subcategoría se distribuyen de la siguiente manera: 1) emisiones al aire, y 2) acumulación en residuos sólidos de incineración y residuos de la limpieza de gases de salida. Debe destacarse que, al igual que otras formas de disposición de desechos con contenido de mercurio, los residuos sólidos de la combustión de carbón son proclives a volver a causar liberaciones de mercurio en cierto grado, dependiendo del método de disposición o uso final del residuo y del nivel de control para minimizar las liberaciones de mercurio al aire, el agua y la tierra década tras década.

266. En términos generales, en lo que respecta a las fuentes dentro de esta subcategoría, probablemente más de la mitad de las entradas de mercurio sea liberada con las emisiones atmosféricas, mientras que el resto se retiene en los residuos de la limpieza de los gases de salida (si hay controles por ello) y tal vez algo queda en las cenizas de fondo/escoria, dependiendo del tipo de fuente en cuestión. En el caso de las calderas industriales y otras instalaciones de combustión, es probable encontrar concentraciones muy bajas de mercurio en las cenizas de fondo. No obstante, esos niveles pueden ser un poco más altos en el caso de la calefacción doméstica.

267. En el caso de las plantas de combustión que no disponen de equipos para la reducción de emisiones o que solamente cuentan con retención de partículas grandes (retención PES), todas o casi todas las entradas de mercurio serán liberadas directamente a la atmósfera. Es así porque la mayor parte del mercurio en los gases de escape permanece en la etapa gaseosa o es absorbido a partículas pequeñas si las temperaturas caen por debajo de ciertos niveles durante el transporte a través del sistema de escape del gas. No obstante, los filtros de tela y otros filtros de alta eficiencia para la retención de partículas han retenido altos porcentajes de las entradas de mercurio en determinadas condiciones.

### 5.1.2.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-9 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de otras formas de combustión de carbón

Proceso	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción de carbón residual	Cantidad de cada tipo de carbón procesado	Concentración de mercurio en cada tipo de carbón procesado
Combustión de carbón	Cantidad de cada tipo de carbón quemado	Concentración de mercurio en cada tipo de carbón quemado

268. Los estimados detallados del consumo nacional de diferentes tipos de combustibles, en cantidades totales y por sector, están disponibles en la página web de la Agencia Internacional de la Energía <http://data.iaea.org/ieastore/statslisting.asp>.

269. Al igual que en las grandes centrales a base de carbón, el mercurio está presente como impureza dentro del carbón. La concentración de mercurio en el carbón varía considerablemente en función del tipo de carbón y su origen, e incluso dentro de la misma mina. La sección 5.1.1 y la tabla 5-4 ofrecen más ejemplos de concentraciones de mercurio en carbón.

270. Algunas instalaciones de combustión de carbón también se usan para quemar desechos. En esos casos, estimar la cantidad de emisiones de mercurio puede resultar más complicado. La concentración de mercurio en los desechos (si se conoce), junto con la cantidad de desechos quemados, y la información sobre las tecnologías de control, pueden ser útiles para calcular las liberaciones de mercurio debidas a la combustión de desechos (véase la sección 5.8, dedicada a la incineración de desechos). Posteriormente, ese cálculo se suma al cálculo de liberaciones de mercurio debidas a la combustión de carbón.

### 5.1.2.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

271. Las liberaciones de mercurio a partir de las calderas de combustión que no cuentan con mecanismos de control y otras fuentes similares dentro de esta subcategoría llegan principalmente al aire (casi 100%) en forma de mercurio gaseoso o quedan como partículas finas (US EPA, 1997). Si la fuente cuenta con controles accesorios o utiliza técnicas de lavado de carbón, parte del mercurio se irá con los residuos y/o el agua (la sección 5.1.1 brinda más información sobre liberaciones para diversos controles y lavado de carbón).

272. En el caso de la producción de carbón residual de petróleo se espera que la totalidad o la mayoría de las entradas de mercurio sea emitida a la atmósfera durante el propio proceso de producción (COWI, 2002). La US EPA (1997a) menciona factores de emisión atmosférica de mercurio en instalaciones alemanas dentro del rango de 0.01 - 0.03 g de mercurio/tonelada métrica de carbón residual producido. Si se aplica carbón pre-limpio (tal es el caso en Estados Unidos), las emisiones atmosféricas pueden ser ligeramente menores (aproximadamente 21% menores), ya que parte del contenido de mercurio se va en el lavado y se trata o deposita de otra manera (COWI, 2002).

### 5.1.2.5 Factores de entrada y factores de la distribución de salidas

273. A partir de los ejemplos compilados hasta ahora sobre las concentraciones de mercurio en carbón y la información sobre la eficiencia de los sistemas para la reducción de emisiones ya presentada, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos. Asimismo, los factores por defecto reflejan criterios expertos basados únicamente en datos

sintetizados y, hasta ahora, no se ha aplicado ningún enfoque cuantitativo sistemático (es decir, concentración ponderada por consumo y derivación de factores de distribución) en el desarrollo de los factores.

274. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

275. Tomando en cuenta la gran variación presentada tanto en las concentraciones de mercurio en carbón y en la eficiencia de los sistemas para la reducción de emisiones en el caso específico del mercurio, se prefiere el enfoque de uso de datos específicos por fuente, siempre que ello sea factible. Si desea orientación sobre la recopilación de datos, consulte la sección 4.4.5.

#### a) Factores por defecto de la entrada de mercurio

276. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en la composición particular de carbón usado arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones. Si no se dispone de datos para el carbón usado, entonces pueden aplicarse los valores o rangos promedio a partir de los datos sobre otros tipos similares de carbón (véanse los ejemplos en la tabla 5-4).

277. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en los concentrados usados durante la etapa de extracción, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto seleccionados en la tabla 5-10 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto). Si se decide no calcular en forma de intervalos, el uso del valor máximo se recomienda a fin de detectar la posible importancia de la categoría de fuente para investigaciones ulteriores. La aplicación de un estimado máximo no implica automáticamente que las liberaciones reales tengan esa magnitud, sólo señalan la conveniencia de realizar más investigaciones.

Tabla 5-10 Factores preliminares de entrada de mercurio por defecto en el carbón para la producción de energía

Material	Factores de entrada por defecto; g de mercurio por tonelada métrica de carbón; (mínimo - máximo)
Carbón usado en la producción de energía	0.05 - 0.5

278. En relación con las tasas de actividad, la información más necesaria es la cantidad de cada tipo de carbón quemado en un año. Si no se dispone directamente de esos datos, es posible derivar un estimado a partir de los datos sobre el valor de producción de calor del carbón (expresado en unidades como kJ/l o kJ/kg) y de los datos sobre la producción total de energía para el año (kJ/año). No hay que olvidar la necesidad de basar los estimados en el contenido energético primario del carbón (no en la cantidad de energía que reciben los usuarios; esta última no suele incluir las pérdidas en la producción y la transmisión, por lo tanto, no refleja adecuadamente el consumo de carbón).

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

279. En el caso de la producción de carbón residual de petróleo, el 100% del mercurio de entrada con el carbón materia prima deberá, por defecto, considerarse como liberaciones a la atmósfera.

280. La tabla 5-11 sugiere los factores por defecto de las salidas de mercurio en el caso de la combustión de carbón. Estos factores son idénticos a los que se definieron para las grandes centrales de generación de energía a base de quema de carbón; la principal diferencia consiste en que muy pocas instalaciones de menor tamaño cuentan con sistemas caros y efectivos para la limpieza de los gases de salida.

Tabla 5-11 Factores **preliminares** de las salidas por defecto de mercurio a partir de la combustión de carbón en centrales pequeñas de energía y otras instalaciones

Dispositivo para la reducción de emisiones	Factores de distribución, porción de las entradas de Hg *4					
	Aire	Agua *1	Tierra *2	Productos *3	Desechos generales *5	Tratamiento/ disposición específicos por sector *5
Ninguno	1					
Lavado de carbón *1	0.8 (vía combustión)	?	?		0.2	
Control MP con PES general o DP	0.9		?	?	0.1	
Control MP con FT u otro con alta eficiencia en la retención MP	0.5		?	?	0.5	
Control MP y SAD	0.4		?	?	0.6	
Control MP y DGS húmedo	0.5		?	?	0.5	

Notas: \*1 Podrían registrarse emisiones al agua de no retenerse todo el Hg en los residuos de los medios de lavado. Si se aplica el lavado de carbón en combinación con los dispositivos para la limpieza de los gases de salida, el factor de salida del mercurio designado para el aire debe calcularse multiplicando el factor de reducción por lavado de carbón con los factores correspondientes al dispositivo de control de salidas;

\*2 En caso de que los residuos no sean depositados cuidadosamente, podría considerarse que son liberados a la tierra;

\*3 Dependiendo de los sistemas de limpieza de gases de salida que se apliquen, partes del mercurio que de otra manera sería depositadas como residuo podrían seguir a los derivados comercializados (principalmente tablarroca con yeso, cemento/concreto y ácido sulfúrico);

\*4 La US EPA (2002a) señala que la eficiencia de los sistemas para la reducción de emisiones de mercurio depende en gran medida del tipo de carbón. Ya que no se dispone actualmente de medidas de eficiencia representativas internacionalmente *versus* tipos de carbón consumido para incluirlas en el presente instrumental sobre mercurio, los factores de distribución de liberaciones sugeridos no toman en cuenta dicha relación;

\*5 La disposición específica por sector puede incluir la disposición en rellenos sanitarios especiales asegurados, rellenos sanitarios especiales sin seguridad de lixiviación y un uso más difuso en la construcción de caminos u otras obras. La distribución real entre disposición con desechos generales (rellenos sanitarios ordinarios) y disposición específica por sector tiende a variar mucho entre los países y es necesario recoger información concreta sobre los procedimientos de disposición de cada localidad.

281. Además, es posible obtener algunos factores de emisión atmosférica a través de la publicación de la US EPA (1997b), Volumen 2 (disponible en <http://www.epa.gov/mercury/report.htm>) o a través de otras fuentes.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

282. No se sugieren enlaces.

### 5.1.2.6 Datos principales por fuente

283. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en la mezcla consumida de carbones en la fuente,
- Datos sobre la cantidad de cada tipo de carbón quemado en las instalaciones, y
- Datos medidos sobre equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

284. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

### 5.1.2.7 Resumen del enfoque general para el cálculo de liberaciones

285. El enfoque general para calcular las liberaciones de mercurio a cada una de las vías a partir de otras formas de combustión de carbón es el siguiente:

<b>Factor de entrada</b> (concentración de Hg en los tipos de carbón usados)	*	<b>Tasa de actividad</b> (cantidad de cada tipo de carbón quemado por año)	*	<b>Factor de distribución</b> para cada vía
--	---	--	---	--

y el total de liberaciones es la suma de liberaciones a cada vía.

## 5.1.3 Aceites minerales – extracción, refinación y uso

### 5.1.3.1 Descripción de la subcategoría

286. Esta sección incluye la extracción, la refinación y los usos de los aceites minerales (también denominados genéricamente “crudo” o “petróleo” en el presente instrumental). Esta subcategoría incluye la combustión de crudo para generar energía, calor y transportes, además de otros usos, como el asfaltado de caminos (bitumen), la síntesis de productos químicos, la producción de polímeros, la producción de lubricantes y carbón (pigmentos negros). Al igual que otros materiales naturales, el aceite mineral contiene pequeñas cantidades de impurezas naturales de mercurio que se movilizan a la biosfera durante la extracción y el uso. Las concentraciones de mercurio en el crudo pueden variar considerablemente en función de las características geológicas de cada localidad. La US EPA (1997a) menciona concentraciones de mercurio en crudos en el rango de 0.023 - 30 mg/kg. Además del mercurio naturalmente presente en el petróleo, otra vía de entrada de mercurio se registra durante la etapa de extracción mediante el uso de ciertos tipos de lodo de perforación.

287. Se sabe que la extracción de petróleo puede causar importantes liberaciones de mercurio y en años recientes se ha dedicado más atención a las emisiones registradas en este sector. El mercurio puede ser liberado al aire, la tierra o el agua durante el proceso de refinación, pero también a través de los productos o derivados de la refinación y diversos desechos y lodos propios de estos procesos.

288. La combustión de petróleo libera mercurio principalmente en forma de emisiones al aire. Sin embargo, un pequeño porcentaje de mercurio puede liberarse a otros medios, pro ejemplo en la forma de residuos de la incineración. En términos generales, sólo las grandes unidades de combustión diseñadas para la quema de aceites minerales cuentan con equipos para la reducción de emisiones.

289. En las refinerías, el petróleo crudo se separa por destilación (y craqueo) en diversos productos refinados del petróleo, como la gasolina, el queroseno, el gas licuado de petróleo (como el propano), los destilados (como el diesel y el combustible pesado para reactores), y los “residuales” (combustibles industriales). Las refinerías remueven parte de las impurezas que se encuentran en el crudo, como azufre, nitrógeno y metales. Existen diversos tipos de combustóleo derivados del petróleo crudo. Los dos grupos más importantes son el combustóleo pesado (también llamado petróleo residual) y el combustóleo ligero (también llamado petróleo destilado). A su vez, estos petróleos se

clasifican en diversos grados, como los de grado 1 y 2 (tipos de petróleos destilados) y de grado 4, 5 y 6 (petróleos residuales) (US EPA, 1997a y US EPA, 2003b). Los diferentes productos del petróleo se separan por destilación aplicando las diferentes temperaturas de ebullición de los elementos del crudo. El propano y la gasolina son ejemplos de productos con puntos de ebullición bajos, el diesel/combustóleo y el queroseno tienen puntos de ebullición ligeramente superiores, los combustóleos pesados tienen altos puntos de ebullición y el bitumen (“asfalto”) y el carbón residual del petróleo presentan las fracciones más altas de punto de ebullición (o residuo).

290. En principio, se esperaría que el mercurio siguiera principalmente aquellos destilados cuyos puntos de ebullición están cerca de su propio punto de ebullición; no obstante, en la práctica, las diferencias en las concentraciones de mercurio entre los crudos que se usan como materia prima podrían ejercer mayor influencia en el contenido de mercurio de los productos refinados del petróleo.

### 5.1.3.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-12 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de la extracción, refinación y uso de aceites minerales

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector
Extracción	X	X	x	x		
Refinación	X	x	x	x	x	x
Combustión	X					
Otros usos						

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

#### De la extracción y refinación del petróleo

291. Un importante factor que determina las liberaciones de mercurio provenientes de esta subcategoría es la concentración de mercurio en el crudo.

292. El mercurio puede liberarse al aire, la tierra o el agua a partir de la extracción, durante la refinación u otros procesos. Asimismo, puede liberarse a través de los productos o derivados de la refinación, y los diversos desechos y lodos propios de estos procesos.

#### De la combustión del petróleo

293. Los factores más importantes que determinan las liberaciones a partir de las fuentes de combustión del petróleo son los niveles de mercurio en el aceite mineral y la cantidad de combustible quemado. La principal vía de dichas liberaciones es el aire a través de la chimenea de combustión. Ya que todo el suministro de combustible está expuesto a las altas temperaturas, básicamente todo el mercurio presente en el combustóleo se volatizará y saldrá de los hornos con los gases de la combustión. A menos que esos gases de combustión se expongan a sistemas de baja temperatura para el control de la contaminación atmosférica y a sistemas de control MP de alta eficiencia, lo que rara vez sucede en este tipo de unidades, el mercurio será liberado en forma de vapor a través de la chimenea de combustión (US EPA, 1997a).



### 5.1.3.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-13 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la extracción, refinación y uso de aceites minerales

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios sobre la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Refinación	Cantidad de entrada de crudo	Concentración de mercurio en mezclas de crudo usadas en todos los productos de salida
Uso	Cantidad de cada tipo de petróleo	Concentración de mercurio en cada tipo de petróleo quemado/usado

294. La página web de la Agencia Internacional de la energía (<http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>) contiene cálculos detallados del consumo nacional de diferentes tipos de combustibles, tanto en totales como por sector.

#### Concentración de mercurio en petróleo crudo

295. Pirrone *et al.* (2001) reportan una concentración general promedio de 10 ppb en petróleo crudo, pero con algunos valores que llegan hasta 30,000 ppb.

296. La tabla 5-14 presenta un resumen de las concentraciones de mercurio medidas en petróleos crudos. Esta tabla ilustra la gran variación de concentraciones de mercurio en el petróleo; no obstante, los valores extraordinariamente altos pueden representarse en un número relativamente menor de campos. Por ejemplo, Wilhelm y Bigham (2002) destacan que las muestras de un pequeño campo en California, las cuales representan 0.2 % del petróleo crudo procesado en Estados Unidos, con una concentración extraordinariamente alta de mercurio se incluyen en varias de las series de datos que aparecen en la tabla 5-14. Si se excluyen las muestras obtenidas en ese campo el valor de la media cae hasta 1000 veces en las tres series de datos con medias cuyo valor es extraordinariamente alto (series de datos de Shah *et al.* 1970, Filby y Shah, 1975 y Bloom, 2000).

297. Además de las series de datos a las que hace referencia Wilhelm (2001), la tabla incluye datos sobre el contenido de mercurio en petróleos crudos en países de la CEI (Lassen *et al.*, 2004). La media se calcula a partir del valor medio de las muestras de cada uno de los 42 campos petroleros analizados. La media para toda la serie fue de 300 ppb, mientras que la media para 9 campos rusos fue de 180 ppb. Los autores de ese informe indican que la serie de datos puede reflejar un sesgo hacia las muestras con contenido de mercurio relativamente alto, pues muchos de los análisis se hicieron con el propósito de estudiar la presencia de regiones, principalmente en Asia Central, donde se registrara una concentración relativamente alta de mercurio.

Tabla 5-14 Concentraciones de mercurio en petróleo crudo

Notas	Media (ppb)	Rango (ppb)	Desviación estándar	Número de muestras	Referencia
Asia	<1			1	Tao <i>et al.</i> , 1998 *1
Refinerías canadienses	1.6	<2 - 9	1.6	8	Duo <i>et al.</i> , 2000 *1
Libia	3.1	0.1 - 12.2	4.2	6	Musa <i>et al.</i> , 1995 *1
Orígenes no reportados	4.4	1.6-7.2	1.0	11	Liang <i>et al.</i> , 2000 *1
Refinerías de Nueva Jersey	3.5	0.1-12.2		23	Morris, 2000 *1

Notas	Media (ppb)	Rango (ppb)	Desviación estándar	Número de muestras	Referencia
Canadá e importaciones	8	Todos <DL=15		24	Cao, 1992 *1
Canadá	22	<2 - 399	63.6	86	Hitchon y Filby, 1983 *1
Refinerías de la costa occidental	65	<10 - 1,560		26	Magaw <i>et al.</i> , 1999 *1
Rusia; media de resultados de 9 campos petroleros	180				Lassen <i>et al.</i> , 2004
Países CEI; media de resultados de 42 campos petroleros	300	< 8- 6,900		113	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Orígenes no reportados	1.505	NR	3,278	76	Bloom, 2000 *1
EE.UU. e importaciones	3.200	23 - 29,700		10	Shah <i>et al.</i> , 1970 *1
EE.UU. e importaciones	5.803	<4 - 23,100		4	Filby y Shah, 1975 *1

Notas \*1 Fuente: Wilhelm, 2001. NR: no reportado.

### Concentraciones de mercurio en productos refinados del petróleo

298. La tabla 5-15 muestra datos sobre las concentraciones de mercurio en diversos productos refinados del petróleo a partir de la compilación de Wilhelm (2001).

Tabla 5-15 Concentraciones de mercurio en productos refinados del petróleo (con base en Wilhelm, 2001)

Tipo	Media (ppb)	Rango (ppb)	Desviación estándar	Número de muestras	Referencias *1	Notas
Queroseno	0.04	0.04	NR	1	Liang <i>et al.</i> , 1996	EE.UU.
Asfalto	0.27	NR	0.32	10	Bloom, 2000	EE.UU.
Diesel	0.4	0.4	NR	1	Liang <i>et al.</i> , 1996	EE.UU.
Combustóleo para calefacción	0.59	0.59	NR	1	Liang <i>et al.</i> , 1996	EE.UU.
Combustóleo de servicio público	0.67	NR	0.96	32	Bloom, 2000	EE.UU.
Gasolina	0.7	0.22 - 1.43	NR	5	Liang <i>et al.</i> , 1996	EE.UU.
Destilados ligeros	1.32	NR	2.81	14	Bloom, 2000	EE.UU.
Gasolina	1.5	0.72 - 1.5	NR	4	Liang <i>et al.</i> , 1996	Extranjero
Diesel	2.97	2.97	NR	1	Liang <i>et al.</i> , 1996	Extranjero
Combustóleo residencial	4	2-6		6	EPA, 1997b	
Nafta	15	3 - 40	NR	4	Olsen <i>et al.</i> , 1997	
Nafta	40	8 - 60	NR	3	Tao <i>et al.</i> , 1998	Asiático
Carbón residual	50	0-250	NR	1000	US EPA, 2000	EE.UU.

Tipo	Media (ppb)	Rango (ppb)	Desviación estándar	Número de muestras	Referencias *1	Notas
del petróleo						
Combustóleo destilado	120			3	US EPA, 1997b	

Notas \*1 Las referencias corresponden a las citadas en Wilhelm, 2001. NR: no reportado.

299. La tabla 5-16 muestra datos sobre las concentraciones de mercurio en una selección de tipos de aceites usados en Estados Unidos (US EPA, 1997a).

Tabla 5-16 Concentraciones de mercurio (en ppmwt) en diversos tipos de aceites usados en Estados Unidos (US EPA, 1997a)

Combustóleo	Número de muestras	Rango (ppmwt)	Valor típico
Residual No. 6	??	0.002-0.006	0.004 *1
Destilado No. 2	??	??	<0.12 *2
Crudo	46	0.007-30	3.5 *3

Notas: \*1 Punto medio del rango de valores;

\*2 Promedio de datos de los tres sitios;

\*3 El promedio de 46 puntos de datos fue 6.86; si se elimina el valor de punto único 23.1, el promedio de los otros 45 puntos de datos es 1.75. Sin embargo, el estudio más grande con 43 puntos de datos arroja un promedio de 3.2 ppmwt. Se eligió un valor acordado de 3.5 ppmwt como mejor valor representativo típico;

Referencias: Brooks, 1989; Levin, 1997; Chu y Porcella, 1994.

#### 5.1.3.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

##### Extracción y refinación

300. No se han encontrado datos sobre las liberaciones de mercurio provenientes de la extracción y refinación de petróleo para este instrumental orientado a la elaboración de un inventario. Sin embargo, los datos sobre contenido de mercurio en petróleo crudo y refinado indican que sí ocurren liberaciones en esos procesos. Esto puede considerarse como una importante laguna de datos en lo que respecta a las liberaciones de mercurio en el mundo.

301. La comparación del contenido de mercurio en petróleo crudo y en algunos productos refinados del petróleo, parece que las emisiones provenientes de las refinerías petroleras podrían ser significativas. Por ejemplo, la US EPA ha estimado que las emisiones de mercurio a partir de la combustión de crudo serían de aproximadamente  $41 \text{ kg}/10^{15} \text{ J}$  (US EPA, 1997, citado en NESCAUM, 1998). Este dato se compara con los estimados de emisiones provenientes de petróleo residual y destilado de  $0.20$  y  $2.7 \text{ kg}/10^{15} \text{ J}$ , respectivamente (NESCAUM, 1998). Estas diferencias en órdenes de magnitud sugieren que una importante cantidad de mercurio termina en otros productos refinados del petróleo o se emite durante el proceso de refinación (NESCAUM, 1998).

##### Combustión y otros usos

302. A manera de supuesto general en el uso de petróleo que implica combustión, puede considerarse que 100% de la entrada de mercurio a partir de los productos del petróleo usados (incluido el crudo) se libera al aire. Puede haber excepciones en los sistemas de combustión equipados con sistemas de limpieza de gases de salida que operan en condiciones que favorecen la oxidación del mercurio presente en dichos gases (con base en las experiencias con los sistemas de combustión de carbón) o diseñados para la retención de mercurio por medio de algún otro proceso.

303. Los tres tipos de medidas de control aplicadas a las calderas y hornos a base de quema de petróleo son las modificaciones de las calderas, la sustitución de combustible y la limpieza de los gases de salida. Únicamente los sistemas de sustitución de combustible y limpieza de gases de salida pueden afectar las emisiones de mercurio. La sustitución de combustible se usa sobre todo para reducir las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Sin embargo, si los combustibles sustituidos tienen menores concentraciones de mercurio, la sustitución también reducirá las emisiones. Debido a que las emisiones de material particulado a partir de las unidades con quema de petróleo tienden a ser mucho más bajas que aquellas registradas en unidades con quema de carbón, rara vez se emplean los sistemas de control de partículas de alta eficiencia en sistemas que operan con quema de petróleo.

304. En Estados Unidos, los equipos para la limpieza de los gases de salida suelen usarse únicamente en grandes calderas de petróleo. Los recolectores mecánicos, un tipo dominante de dispositivo de control en ese país, son principalmente útiles para controlar partículas generadas durante el proceso de soplado de hollín, en condiciones anormales o cuando se quema petróleo muy sucio y pesado. En esas situaciones, los recolectores ciclónicos de gran eficiencia pueden alcanzar hasta 85% de control de partículas, pero se espera un control insignificante en relación al mercurio cuando se usan recolectores mecánicos. En algunas centrales de energía a base de petróleo se usan precipitadores electrostáticos (PES). Con base en los datos de prueba obtenidos en dos centrales de este tipo, la US EPA reporta que la remoción de mercurio en calderas de petróleo equipadas con PES se encuentra en el rango de 42 - 83% (US EPA, 1997a). Se han instalado sistemas depuradores en calderas a base de quema de petróleo a fin de controlar tanto los óxidos de azufre como las partículas. De manera similar a los sistemas aplicados a la combustión de carbón, estos sistemas pueden alcanzar una eficiencia de control de partículas en el rango de 50 - 90% (US EPA, 1997a). Ya que proporcionan el enfriamiento de los gases, puede lograrse cierto control de mercurio, pero no se han obtenido datos sobre el porcentaje de mercurio removido.

305. La única salida sustantiva de emisiones atmosféricas de mercurio derivadas de las operaciones de quema de combustóleo se registra en las chimeneas de escape de gases. En Estados Unidos se recurrió a tres tipos de información para definir factores de emisión en la combustión de petróleo. Primero, se usaron los datos sobre el valor de producción de calor del combustóleo y el contenido de mercurio en los combustóleos para desarrollar factores de emisión por balance de masa, con el supuesto conservador de que todo el mercurio quemado con el combustóleo se emite a través de la chimenea. Segundo, se evaluaron los factores de emisión calculados para la combustión de petróleo residual y destilado, y la combustión de petróleo residual. Tercero, se evaluaron y sintetizaron los datos de pruebas de tasa de emisión (US EPA, 1997a).

306. Tras analizar los datos disponibles, la US EPA estimó los “mejores típicos” factores de emisión atmosférica de mercurio (FE) para la combustión de petróleos en EE.UU. La tabla 5-17 muestra dichos FE. En US EPA (1997a) se encuentra más información sobre los datos y cálculos.

307. Los factores de emisión para el petróleo destilado, residual y crudo que aparecen en la tabla 5-18 son para emisiones “sin controles”. Se consideró que los datos disponibles eran insuficientes para desarrollar factores de emisión controlada para la combustión de combustóleo. Existe un considerable nivel de incertidumbre en esos cálculos de factores de emisión debido a la variabilidad de concentraciones de mercurio en combustóleo, al hecho de que la base de datos sobre petróleo destilado está incompleta y a la incertidumbre en el muestreo y análisis para detectar mercurio (US EPA, 1997a). Por lo tanto, estos factores de emisión habrán de usarse con precaución y tal vez no sean adecuados para aplicarse en determinadas instalaciones. Además, para calcular las liberaciones de instalaciones a base de quema de petróleo en otro país, se preferirán datos específicos de ese país y/o datos específicos para las instalaciones en lugar de depender de los datos y factores de emisión registrados en Estados Unidos.

Tabla 5-17 “Mejores típicos” factores de emisión atmosférica de mercurio para la combustión de combustóleo en EE.UU. a partir de análisis de la US EPA (US EPA, 1997a)

Tipo de combustóleo	Factores calculados para la emisión de mercurio		
	Kg/10 <sup>15</sup> J	g/toneladas métricas de combustóleo	g/10 <sup>3</sup> L combustóleo
Residual No. 6	0.2	0.009	0.0085
Destilado No. 2	2.7	0.12	0.10
Crudo	41	1.7	1.7

### 5.1.3.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

308. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos. En muchos casos, el cálculo de intervalos de liberación arrojará un estimado más aproximado a las liberaciones reales.

309. El principal objetivo del uso de estos factores por defecto es obtener una impresión inicial y determinar si la subcategoría representa una fuente de liberación de mercurio significativa en el país. Por lo general, será necesario afinar los cálculos de las liberaciones (obtenidos con factores por defecto) antes de adoptar cualquier medida trascendental a partir de este tipo de datos.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio en el uso de petróleo

310. La entrada de mercurio puede calcularse multiplicando la concentración de mercurio en el producto derivado del petróleo en cuestión con la cantidad de entrada del mismo producto del petróleo. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en el petróleo extraído, refinado o quemado producirán los mejores cálculos de liberaciones. Sin embargo, si no se dispone de datos para ese petróleo en particular, los datos anteriores sobre los niveles de petróleos similares pueden usarse como sustitutos. Por lo general, las entradas son las mezclas de petróleos con diferentes concentraciones de mercurio. En esos casos, debe establecerse una concentración promedio ponderada por la composición de la entrada de mezclas de petróleos.

311. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en el petróleo usado, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-18 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto). Si se decide no calcular en forma de intervalos, el uso del valor máximo se recomienda a fin de detectar la posible importancia de la categoría de fuente para investigaciones ulteriores. La aplicación de un estimado máximo no implica automáticamente que las liberaciones reales tengan esa magnitud, sólo señalan la conveniencia de realizar más investigaciones.

312. En el caso de los productos refinados del petróleo, es necesario destacar que la concentración de mercurio en el crudo que se emplea como materia prima podría influir la concentración de mercurio en el producto refinado más que el punto de ebullición (“pesadez”) del tipo de producto derivado del petróleo del que se trate.

Tabla 5-18 Factores **preliminares** de entrada por defecto para el mercurio en diversas cualidades de petróleo

Producto	Factores de entrada por defecto; mg de mercurio por tonelada métrica de petróleo; (mínimo - máximo)
Petróleo crudo	10 - 300
Gasolina, diesel y otros destilados	1 - 100

**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

313. No es posible establecer factores de distribución de salidas por defecto debido a la falta de datos. En el caso de las refinerías, la suma de liberaciones de mercurio a los medios ambientales y los residuos puede determinarse aplicando el enfoque de balance de masa que mide las concentraciones de mercurio en la mezcla inicial de crudo y midiendo las concentraciones de mercurio en todas las salidas de productos durante el mismo período (las entradas y salidas se originan en la misma mezcla de crudo).

Tabla 5-19 Factores **preliminares** de distribución por defecto en las salidas de mercurio en la extracción, refinación y usos de petróleo

Etapa del ciclo de vida	Factores de distribución, porción de las entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Extracción	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Refinación	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Usos:						
Usos (además de la combustión)	1					
Calefacción residencial sin controles	1					
Instalaciones de combustión de petróleo sin controles de emisiones	1					
Instalaciones de combustión de petróleo con control MP usando un PES o depurador	0.9				0.1	

314. En términos generales, en el caso de las instalaciones de combustión de petróleo, es razonable suponer que casi 100% del mercurio que se encuentra en el combustible será liberado al aire a través de las chimeneas de combustión. Sin embargo, en algunos casos (como sucede con instalaciones donde hay PES o depuradores) puede liberarse algo de mercurio a los residuos de los dispositivos de control.

**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

315. No se sugieren enlaces.

**5.1.3.6 Datos principales por fuente**

316. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en los tipos de petróleo extraído, refinado y usado en la fuente;
- Cantidad de cada tipo de petróleo extraído, refinado y usado, y
- Datos medidos sobre equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

317. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

### **5.1.3.7 Resumen del enfoque general para el cálculo de liberaciones**

#### **Provenientes de la combustión de petróleo**

318. Como se dijo antes, la principal vía de liberación de mercurio debida a la combustión de combustóleo es la chimenea de escape. La información básica necesaria para calcular las liberaciones a partir de la combustión de combustóleo son: concentración de mercurio en el tipo de petróleo (en ppm u otras unidades) y cantidad de cada tipo de petróleo quemado.

## **5.1.4 Gas natural – extracción, refinación y uso**

### **5.1.4.1 Descripción de la subcategoría**

319. El gas natural es un combustible fósil extraído, refinado y usado con diversos objetivos, particularmente la combustión para producir electricidad y calor. Al igual que muchos otros materiales naturales, el gas natural contiene pequeñas cantidades de impurezas de mercurio, las cuales se movilizan hacia la biosfera durante los procesos de extracción, refinación y combustión. En algunas regiones del mundo, se sabe que el gas natural tiene altas concentraciones de mercurio (hecho que depende de la geología). Las liberaciones de este metal pueden registrarse durante la extracción, refinación, pasos de limpieza y uso del gas (COWI, 2002 y US EPA, 1997b). En algunos países, el mercurio que se encuentra en los residuos de la limpieza del gas (“condensado” y posiblemente otros medios) se recupera y comercializa como derivado. En otros países, los residuos se recogen y tratan como desechos peligrosos. En el caso de la extracción de gas en alta mar, a veces los pasos iniciales para su limpieza tienen lugar en alta mar y pueden incluir el uso de agua de limpieza, la cual puede descargarse in situ. Aún no se comprende del todo el destino del contenido de mercurio observado en el gas natural. Esto puede considerarse como una gran laguna de datos en la descripción de las liberaciones de mercurio. En Dinamarca (y con toda probabilidad en el resto de los países) el gas que llega a los consumidores ha pasado por un proceso de limpieza y contiene, en esa etapa, poco mercurio.

320. El proceso de producción de energía con gas natural empieza con la extracción del gas, continúa con su tratamiento y transporte hasta las centrales de energía, y culmina con su combustión en calderas y turbinas para generar electricidad. Inicialmente, se perforan pozos para sacar el gas natural; una vez extraído, el gas es tratado en plantas especiales para eliminar impurezas, como sulfuro de hidrógeno, helio, dióxido de carbono, hidrocarburos y humedad. Las operaciones de limpieza del gas pueden llevarse a cabo en alta mar. Posteriormente, el gas natural es transportado por tubería desde las plantas de gas hasta las centrales de energía, o bien mediante la red de suministro de gas hasta las calderas domésticas para su combustión.

321. Otros usos del gas natural son, entre otros, la síntesis de productos químicos, la producción de polímeros y la producción de carbón negro (pigmento negro).

### 5.1.4.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-20 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de la extracción, refinación y uso de gas natural

Etapa del ciclo de vida (/uso)	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/d isposición específicos por sector
Extracción/refinación	X	X	X	x	x	X
Combustión	x					
Otros usos						

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

322. Los factores más importantes que determinan las liberaciones son los niveles de mercurio en el gas natural y la cantidad de gas extruído, reinado o quemado.

323. La mayor parte del mercurio que se encuentra en el gas natural crudo puede removerse durante la extracción y/o el proceso de refinación, incluido el proceso de remoción de sulfuro de hidrógeno (Pirrone *et al.*, 2001). Por lo tanto, en términos generales se considera al gas natural como a un combustible limpio con concentraciones usualmente muy bajas de mercurio.

324. Además, no se producen cenizas o se producen muy pocas durante el proceso de combustión en estas instalaciones (US EPA, 1997b). Durante la combustión, ya que todo el suministro de combustible se expone a altas temperaturas de flama, básicamente todo el mercurio que queda en el gas natural será volatilizado y saldrá del horno con los gases de combustión a través de la chimenea de emisiones. Las instalaciones a base de quemado de gas suelen carecer de dispositivos para el control de emisiones capaces de reducir las liberaciones de mercurio (US EPA, 1997a).

### 5.1.4.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-21 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la extracción, refinación y uso de gas natural

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios sobre la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Extracción/refinación	Cantidad de gas natural producido	Concentración de mercurio en la entrada y emisión de gas, respectivamente
Combustión/uso	Cantidad de gas natural quemado	Concentración de mercurio en gas natural quemado

325. Los estimados detallados del consumo nacional de diferentes tipos de combustibles, en cantidades totales y por sector, están disponibles en la página web de la Agencia Internacional de la Energía <http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>.

326. **Combustión de gas natural:** Las concentraciones de mercurio en el gas natural pueden variar en función de la geología local; sin embargo, las concentraciones de mercurio en el suministro para consumo (“gas entubado”) parecen ser bastante bajas en términos generales (COWI, 2002 y US EPA, 1997b). La tabla 5-22 muestra los niveles de mercurio en gas natural.



327. La tabla 5-22 muestra ejemplos del contenido de mercurio en el gas de boca de pozo. El contenido de mercurio varía considerablemente entre las diversas regiones del mundo. Cabe destacar que no se sabe hasta qué punto estas series de datos son representativas de las regiones con contenido particularmente alto de mercurio.

Tabla 5-22 Ejemplos de concentraciones de mercurio en el gas de boca de pozo

Notas	Rango ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )	Media ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )	Número de muestras	Referencia
Gas de boca de pozo en EE.UU. (estimado)		<1 *1		Wilhelm, 2001
Federación Rusa, gas de boca de pozo en pozos petroleros	0.05-70 *1	2.4 *1	48	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Federación Rusa, gas libre en pozos petroleros (después del separador de condensado primario)	0.07-14 *1	3,4 *1	169	Lassen <i>et al.</i> , 2004
San Joaquin Valley, California	1.9-21			Bailey <i>et al.</i> , 1961 *2
Medio Oriente	<50			Hennico <i>et al.</i> , 1991 *2
Países Bajos	0.001-180			Bingham, 1990 *2
Sudáfrica	100			Hennico <i>et al.</i> , 1991 *2
Países Bajos	0-300			Gijsselman, 1991 *2
Lejano Oriente	50-300			Hennico <i>et al.</i> , 1991 *2
Sumatra	180-300			Muchlis, 1981; Situmorang y Muchlis, 1986 *2

Notas \*1 Las referencias aplican la unidad  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sin indicar si el volumen ha sido normalizado a  $\text{Nm}^3$ ;  
\*2 Citado en OilTracers (1999-2004).

Tabla 5-23 Ejemplos de concentraciones de mercurio en gas entubado (limpio y tal como lo recibe el consumidor)

País	Concentración de mercurio $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Referencia y notas
Estados Unidos	<0.02 - <0.2	Wilhelm, 2001; todos los resultados por debajo del límite de detección en métodos usados vía diferentes análisis
Federación Rusa	0.03 - 0.1	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Dinamarca	<0.1 - 0.8	Skårup <i>et al.</i> , 2003

328. Pirrone *et al.* (2001) reportan que “debe obtenerse una reducción de mercurio inferior a 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  antes de poder usar el gas”, lo que podría indicar que las concentraciones de mercurio en el gas de calidad de consumo podrían, en términos generales, ser inferiores a ese nivel en Europa (área geográfica de la que se ocupa el estudio de referencia), pero que el gas natural crudo podría tener ocasionalmente mayores concentraciones de mercurio.

#### 5.1.4.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

329. La mayor parte del contenido de mercurio en el gas natural crudo generalmente se separa del gas y llega a las aguas residuales de la limpieza o los condensados.

330. El término “condensados de gas” se refiere a aquellos líquidos que pueden originarse en diversas ubicaciones dentro de un esquema de procesamiento de gases (Wilhelm, 2001). El hidrocarburo líquido que se separa en el separador primario, ya sea en la boca del pozo o en la planta

de gas, es un condensado genérico no procesado. El condensado procesado es el C5+ fracción (hidrocarburos más pesados), producto de una planta de separación de gases.

Tabla 5-24 Ejemplos de concentraciones de mercurio en condensados de gas

Referencia	Número de muestras	Rango (ppb)	Media (ppb)	DS	Notas
Olsen <i>et al.</i> , 1997 *1	4	NR	15		Orígenes no reportados
Shafawi <i>et al.</i> , 1999 *1	5	9-63	30	18.6	Sudeste Asiático
Tao <i>et al.</i> , 1998 *1	7	15-173	40		Asiático
Lassen <i>et al.</i> , 2004	5	60-470	270	270	Federación Rusa
Bloom, 2000 *1	18	NR	3,964	11,655	Asiático, en su mayoría

Notas: \*1 Citado por Wilhelm (2001); "NR" significa no reportado

331. No se encontraron ejemplos de concentraciones de mercurio en aguas residuales a partir del proceso de limpieza previa del gas en altamar para efectos del presente instrumental.

332. En el caso del gas entubado, es decir, el gas que reciben los consumidores, puede considerarse que todas las entradas de mercurio se liberan al aire durante el uso o combustión.

#### 5.1.4.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

333. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación. En muchos casos, el cálculo de intervalos de liberación arrojará un estimado más aproximado a las liberaciones reales.

334. El principal objetivo del uso de estos factores por defecto es obtener una impresión inicial y determinar si la subcategoría representa una fuente de liberación de mercurio significativa en el país. Por lo general, será necesario afinar los cálculos de las liberaciones (obtenidos con factores por defecto) antes de adoptar cualquier medida trascendental a partir de este tipo de datos.

##### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

335. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en el gas natural extraído, refinado y usado arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones. Si no se dispone de datos para el gas natural usado, entonces pueden aplicarse los datos sobre niveles en gases similares a manera de sustitutos.

336. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en el gas usado, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-25 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto). Si se decide no calcular en forma de intervalos, el uso del valor máximo se recomienda a fin de detectar la posible importancia de la categoría de fuente para investigaciones ulteriores. La aplicación de un estimado máximo no implica

automáticamente que las liberaciones reales tengan esa magnitud, sólo señalan la conveniencia de realizar más investigaciones.

Tabla 5-25 Factores **preliminares** de entrada por defecto para el mercurio en diversas calidades de gas natural

Cualidad del gas	Factores de entrada por defecto; $\mu\text{g Hg}/\text{Nm}^3$ gas; (mínimo - máximo)
Gas crudo o previa limpieza	2 – 200
Gas entubado (calidad de consumo)	0.03 – 0.4

### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

337. Actualmente no es posible establecer factores realistas de distribución de salidas para la extracción y refinación de gas natural. Podría llegarse a estimados realistas de las liberaciones midiendo concentraciones correlacionadas en todas las entradas y salidas a partir de la extracción y refinación de gas natural. Si se conocen las cantidades de condensado producido, puede hacerse un estimado aproximado de las liberaciones de mercurio hacia los condensados a partir de los datos de concentración de mercurio citados en la tabla 5-24.

338. En el caso de la combustión/el uso de gas natural pueden usarse los factores por defecto que presenta la tabla 5-26 a fin de calcular un estimado indicativo de las liberaciones de mercurio.

Tabla 5-26 Factores **preliminares** de distribución por defecto en las salidas de mercurio a partir de la extracción, refinación y uso de gas natural

Etapa del ciclo de vida	Factores de distribución, porción de las entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector
Extracción/refinación	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		n.a.
Combustión/uso	1					

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

339. No se sugieren enlaces.

#### 5.1.4.6 Datos principales por fuente

340. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en el gas natural, extraído, refinado y quemado en la fuente;
- Cantidad de gas natural extraído, refinado y quemado, y
- Datos medidos sobre equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

341. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

## 5.1.5 Otros combustibles fósiles – extracción y uso

### 5.1.5.1 Descripción de la subcategoría

342. Esta categoría incluye la extracción y el uso de otros combustibles fósiles como la turba (forma muy joven de carbón) y el esquisto bituminoso. Este último es un tipo de esquisto o pizarra del que puede recuperarse un crudo oscuro mediante un proceso de destilación. Al igual que otros combustibles fósiles y no fósiles pueden contener trazas de mercurio, las cuales pueden movilizarse durante la extracción y la combustión.

343. Sólo se han recogido datos limitados sobre estas posibles fuentes de liberación de mercurio para la presente versión del instrumental. de no encontrarse datos adicionales durante el trabajo de levantamiento de inventario, puede optarse por medir las concentraciones de mercurio en los tipos de combustible usados y en los residuos y liberaciones producidas.

### 5.1.5.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-27 *Vías de liberación y medios receptores esperados durante el ciclo de vida de la extracción y el uso de otros combustibles fósiles*

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Extracción						
Combustión	X	x	x		x	x

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.1.5.3 Ejemplo de entradas de mercurio

Tabla 5-28 *Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la extracción y el uso de otros combustibles fósiles*

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Combustión	Cantidad de combustibles usados	Concentración de mercurio en combustibles usados

344. Se sabe que el mercurio está presente en la turba y el esquisto bituminoso. Por ejemplo, un estudio realizado en Carolina del Norte, Estados Unidos, reporta concentraciones totales de mercurio en el rango de 40 - 193 ng/g (peso seco) en turba, basadas en datos de medición (Evans *et al.*, 1984).

345. Los estimados detallados del consumo nacional de diferentes tipos de combustibles, en cantidades totales y por sector, están disponibles en la página web de la Agencia Internacional de la Energía <http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>.

### 5.1.5.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

346. No se recogieron datos.

### 5.1.5.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

347. Turba: si no se dispone de otros datos, puede recurrirse a las concentraciones de mercurio mencionadas en la sección 5.1.5.3.

348. Esquisto bituminoso: no se desarrolló ningún factor.

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

349. Turba: si no se dispone de dato alguno, puede considerarse que 100% del mercurio en la turba se libera al aire (como estimación aproximada; cantidades menores de mercurio podrían seguir a los residuos y las cenizas de la combustión).

350. Esquisto bituminoso: no se desarrollaron factores para esta subcategoría dentro de la fuente.

#### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

351. No se sugieren enlaces.

## 5.1.6 Energía a base de quema de biomasa y producción de calor

### 5.1.6.1 Descripción de la subcategoría

352. Muchos países y regiones dependen considerablemente de la combustión de biomasa para obtener energía y producir calor. Estas fuentes queman madera, incluidas las ramas pequeñas, la corteza, el aserrín y las virutas de madera, turba y/o residuos agrícolas (como paja, gránulos de cítricos, conchas de coco, lechos de paja de las aves de corral y excreciones de camello) (PNUMA, 2003). Los desechos de madera se usan como combustible en las industrias. En el sector residencial, la madera se usa en estufas y cocinas (Pirrone *et al.*, 2001). Para los efectos del presente instrumental, las fuentes dentro de esta subcategoría incluyen las calderas a base de quema de madera, otros tipos de calderas para quema de biomasa, estufas de madera, cocinas y otras formas de quema de biomasa. En el caso de las calderas, se supone el uso de generadores de energía a base de vapor razonablemente bien operados y con servicio de mantenimiento a fin de maximizar la capacidad energética. Esta sección no se ocupa de la combustión de madera contaminada.

353. La biomasa se quema en una amplia gama de dispositivos para la generación de energía, desde pequeños hornos de fogón hasta grandes y sofisticados sistemas de caldera/quemador con dispositivos completos para el control de la contaminación del aire (CCA). La combustión de biomasa para la generación de energía ocurre predominantemente en dos tipos de calderas (de alimentación por la boca o fogones y de lecho fluidizado), que se diferencian por la manera en que el combustible alimenta al sistema (PNUMA, 2003).

354. Las calderas de fogón o alimentación por la boca usan una reja fija, vibratoria o móvil sobre la cual se desplaza la biomasa por el horno mientras se quema. El aire de combustión primaria se inyecta desde el fondo de la reja a través de la biomasa utilizada como combustible. Todos estos sistemas queman la biomasa con gran eficiencia, dejando la mayor parte de la ceniza como residuo seco en el fondo de la caldera (PNUMA, 2003).

355. Las calderas de lecho fluidizado usan un lecho de material inerte (por ejemplo arena y/o cenizas) que se fluidiza inyectándole aire de combustión primaria. La biomasa se fragmenta y añade al lecho fluidizado, donde se quema. Las cenizas fluidizadas, arrastradas con el gas de salida, suelen recogerse en un (multi)ciclón para pasar después por un PES o filtro de manga y volver a ser inyectadas a la caldera. De la caldera sale muy poca o ninguna ceniza, ya que las partículas más grandes se quedan dentro del lecho fluidizado o son recogidas en el separador del ciclón. Así, prácticamente todas las cenizas se recogen como cenizas volantes dentro del PES o filtro de manga (PNUMA, 2003).

356. La calefacción y cocina con biomasa en viviendas es una práctica común en muchos países. En la mayoría de los casos el combustible de preferencia es la madera, sin embargo, puede encontrarse el uso de otros combustibles a base de biomasa.

357. La biomasa para calefacción y cocina domésticas se quema en una amplia gama de dispositivos, desde pequeñas cocinas a cielo abierto y chimeneas hasta complejas y sofisticadas cocinas y hornos para la quema de madera. La combustión de biomasa para calefacción y cocina domésticas tiene lugar predominantemente en dispositivos para incrementar la eficiencia de la combustión conforme crece el producto nacional bruto y el grado de desarrollo de los países (PNUMA, 2003).

### 5.1.6.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-29 Principales liberaciones y medios receptores de la energía a base de biomasa y la producción de calor

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Combustión	X	x	x		x	x

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

358. Los factores más importantes que determinan las liberaciones son los niveles de mercurio en el combustible y la cantidad de combustible quemado. El mercurio en los biocombustibles se origina tanto en el mercurio presente de manera natural como en aquel depositado a partir de emisiones antropogénicas (COWI, 2002). Por ejemplo, los árboles (particularmente las agujas y hojas) absorben mercurio de la atmósfera con el transcurso del tiempo. Este mercurio se libera fácilmente, sobre todo al aire, cuando se quema madera y otras formas de biomasa (Friedli, H.R. *et al.*, 2001).

359. Las liberaciones de mercurio provenientes de la combustión de madera y otros biocombustibles pueden ser significativas en algunos países (COWI, 2002). Se espera que la mayor parte del mercurio en la biomasa se libere al aire a partir del proceso de combustión. Una cantidad más pequeña de mercurio puede liberarse a las cenizas o los residuos, el monto exacto depende del material quemado, el tipo de dispositivo de combustión y cualesquiera controles de emisiones que existan.

### 5.1.6.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-30 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la energía a base de biomasa y la producción de calor

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Tipo y cantidad de biomasa quemada	Concentración de mercurio en la biomasa quemada

360. El principal factor de entrada necesario es la concentración de mercurio en la madera u otra forma de biomasa quemada en la fuente, así como la cantidad de cada tipo de biomasa quemada.

361. En el caso de las fuentes no controladas de combustión de madera, la US EPA desarrolló un factor de emisión de 0.0021 gramos de mercurio por tonelada métrica de madera conforme se quema (es decir, peso húmedo). Aplicando el supuesto de que todo el mercurio que se encuentra en la madera

en dichas fuentes no controladas es emitido al aire, se estima que la concentración promedio de mercurio en madera quemada en Estados Unidos es aproximadamente 0.002 ppm (US EPA, 1997a y NJ MTF, 2002).

362. La US EPA recomienda un factor de emisión atmosférica promedio de 0.0026 g de mercurio por tonelada métrica de madera quemada como “mejor típico factor de emisión” para la combustión de desechos de madera en calderas dentro de ese país (US EPA, 1997b).

363. Las investigaciones realizadas en Estados Unidos señalan un contenido de mercurio en lechos de paja y vegetación verde con muestras de siete localidades en el rango de 0.01 – 0.07 mg Hg/kg de peso seco (Friedly *et al.*, 2001).

364. De acuerdo con las investigaciones realizadas en Dinamarca, el contenido de mercurio en madera y paja quemadas en el país se encuentra en el rango de 0.007 - 0.03 mg/kg de peso seco (Skårup *et al.*, 2003).

365. Investigaciones realizadas en Suecia encontraron concentraciones de mercurio en el rango de 0.01 - 0.02 mg/kg de peso seco en leña; sin embargo, se encontraron concentraciones de 0.03 - 0.07 mg/kg de peso seco en madera de sauce (Kindbom y Munthe, 1998). En el caso de la corteza, se encontró una concentración de mercurio de 0.04 mg/kg de peso seco, mientras que se registraron concentraciones de 0.3 - 0.5 mg/kg de peso seco en las agujas de abeto (Kindbom y Munthe, 1998).

366. Los estimados detallados del consumo nacional de diferentes tipos de combustibles, en cantidades totales y por sector, están disponibles en la página web de la Agencia Internacional de la Energía <http://data.iea.org/ieastore/statslisting.asp>.

#### 5.1.6.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

367. Aunque algunas estufas de madera aplican medidas para el control de emisiones, como catalizadores y cámaras de combustión secundaria, para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y monóxido de carbono, no se espera que estas técnicas afecten las emisiones de mercurio. Sin embargo, algunas calderas alimentadas con madera aplican equipos de control MP capaz de lograr cierta reducción. Actualmente, los cuatro dispositivos de control más comunes en Estados Unidos para reducir las emisiones de MP a partir de las calderas alimentadas con madera son los colectores mecánicos, los filtros de tela, los depuradores húmedos y los precipitadores electrostáticos (PES). De ellos, los últimos tres tienen potencial para atrapar cantidades significativas de mercurio (US EPA, 1997a, US EPA, 2002a y US EPA, 1996).

368. Los depuradores húmedos más usados en calderas alimentadas por carbón son los depuradores Venturi. No se han identificado datos sobre la eficiencia del control de estos dispositivos para las emisiones de mercurio en calderas de madera. Sin embargo, se espera cierto nivel de control. Dichas calderas de madera también usan filtros de tela y PES. No se identificaron datos para las eficiencias de los controles de tales dispositivos en calderas alimentadas con madera. Sin embargo, a partir de los datos de las plantas de combustión de carbón, la eficiencia de los FT en el caso del mercurio puede ser de 50% y quizás incluso mayor, mientras que la eficiencia de los PES podría ser menor, alcanzando un máximo de 50% (US EPA, 1997a y US EPA, 2002a).

369. Se cuenta con pocos datos sobre las liberaciones de mercurio a partir de la combustión de madera. Un informe del Consejo Nacional de la Industria Papelera para la Mejora del Aire y los Arroyos (NCASI) en Estados Unidos aportó un rango y factor de emisión promedio para calderas sin PES y calderas con PES (NCASI, 1995, citado en US EPA, 1997a). Las calderas sin PES tenían otros dispositivos de control, como ciclones, multiclones y diversos depuradores húmedos. El factor de emisión promedio reportado para las calderas sin PES fue de  $3.5 \times 10^{-6}$  kg/toneladas métricas de madera seca quemada. El factor de emisión promedio reportado para las calderas con PES fue de  $1.3 \times 10^{-6}$  kg/ toneladas métricas de madera seca quemada. En el caso de la combustión de virutas de madera en calderas sin dispositivo de control alguno, la US EPA estableció un factor de emisión promedio

para las emisiones de mercurio (fundado en cuatro pruebas) de  $2.6 \times 10^{-6}$  kg/toneladas métricas de madera húmeda durante la combustión (US EPA 1997a).

#### 5.1.6.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

370. Hasta ahora no se ha intentado desarrollar factores por defecto de entradas y salidas para esta subcategoría. Si no se dispone de datos específicos, el cálculo de las liberaciones puede basarse en la información aquí proporcionada.

#### 5.1.6.6 Datos principales por fuente

371. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en los tipos de biomasa quemada en la fuente;
- Cantidad de cada tipo de biomasa quemada, y
- Datos medidos sobre equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

372. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

#### 5.1.6.7 Resumen del enfoque general para el cálculo de liberaciones

373. El enfoque general para calcular las liberaciones de mercurio a cada una de las vías a partir de la combustión de biomasa es el siguiente:

<b>Factor de entrada</b> (concentración de Hg en la biomasa quemada en las instalaciones)	*	<b>Tasa de actividad</b> (cantidad de cada tipo de biomasa quemada por año)	*	<b>Factor de          distribución</b> para cada vía
--	---	---	---	---

y el total de liberaciones es la suma de liberaciones a cada vía.

### 5.1.7 Producción de energía geotérmica

#### 5.1.7.1 Descripción de la subcategoría

374. Las centrales de energía geotérmica aprovechan las elevadas temperaturas subterráneas para la producción de energía; la mayoría se encuentra situada en zonas con actividad geotérmica especial, a veces en zonas que registran actividad volcánica. Estas centrales de energía pueden tener sistemas de vapor seco o de agua. En el caso de las centrales a base de vapor seco, el vapor se bombea desde las reservas geotérmicas hasta las turbinas con una temperatura aproximada de 180 °C y una presión absoluta de 7.9 bars. En el caso de las centrales que operan con agua, se aprovecha el agua que se encuentra en los estratos a una temperatura aproximada de 270 °C y una presión ligeramente mayor que la hidrostática. Conforme el agua fluye hacia la superficie, la presión cae y se forma el vapor, el cual se usa para hacer funcionar las turbinas (US EPA, 1997a).

375. Las liberaciones de mercurio provenientes de las centrales de energía geotérmica son causadas por la movilización de mercurio que ocurre naturalmente en este tipo de condiciones geológicas.



### 5.1.7.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-31 Principales liberaciones y medios receptores durante la producción de energía geotérmica

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción de energía geotérmica	X				

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

376. El mercurio se libera al aire desde las centrales de energía geotérmica y posiblemente a otros medios. Las emisiones de mercurio en centrales de energía geotérmica se liberan a través de dos tipos de salidas: eyector de gases evacuados del condensador y torres de enfriamiento (US EPA, 1997a).

### 5.1.7.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-32 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la producción de energía geotérmica

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción de energía geotérmica	Mwe/hora	Gramos (g) de Hg liberados por Mwe/hora

377. Entre los factores de entrada importantes se encuentra el estimado de la producción de energía en megavatios (Mwe) por hora y el estimado de la cantidad de mercurio movilizado por hora megavatio (g Hg/Mwe/hr).

### 5.1.7.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

378. Para el caso de los eyectores de gases evacuados del condensador la US EPA presenta un rango de factores de emisiones atmosféricas de 0.00075 - 0.02 gramos de mercurio por hora megavatio (g/Mwe/hr), con un promedio de 0.00725 g de Hg/Mwe/hr. En el caso de las torres de enfriamiento, la EPA presenta un rango de 0.026 - 0.072 g de Hg/Mwe/hr para los factores de emisiones al aire con un promedio de 0.05 g/Mwe/hr (US EPA, 1997a). Sin embargo, estos factores se basan en datos de emisión no exhaustivos, recopilados en 1977 en Estados Unidos; además, no se proporcionó información sobre los procesos y los datos no han sido validados. Por todo ello, se recomienda la precaución al aplicar los factores de emisión (US EPA, 1997a).

### 5.1.7.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

379. Hasta ahora no se ha intentado desarrollar factores por defecto de entradas y salidas para esta subcategoría. Si no se dispone de datos específicos, el cálculo de las liberaciones puede basarse en la información aquí proporcionada.

## 5.2 Producción primaria (virgen) de metales

Tabla 5-73 Producción primaria (virgen) de metales: subcategorías con vías principales de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desechos/residuos	Principal enfoque para el inventario
5.2.1	Extracción primaria y procesamiento de mercurio	X	X	X	X	X	FP
5.2.2	Extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio	X	X	X			EG
5.2.3	Extracción y procesamiento inicial de zinc	X	X	X	X	X	FP
5.2.4	Extracción y procesamiento inicial de cobre	X	X	X	X	X	FP
5.2.5	Extracción y procesamiento inicial de plomo	X	X	X	X	X	FP
5.2.6	Extracción y procesamiento inicial de oro mediante procesos distintos de la amalgamación de mercurio	X	X	X	X	X	FP
5.2.7	Extracción y procesamiento inicial de aluminio	X		x		X	FP
5.2.8	Extracción y procesamiento de otros metales no ferrosos	X	X	X		X	FP
5.2.9	Producción primaria de metales ferrosos	X				x	FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.2.1 Extracción y procesamiento inicial de mercurio

#### 5.2.1.1 Descripción de la subcategoría

380. Se sabe que la extracción de mercurio ha causado importantes liberaciones de este metal a la tierra, la atmósfera y el agua, provocando así contaminación local y regional. Algunas naciones con actividades de extracción de mercurio en el pasado siguen luchando por controlar ese tipo de contaminación muchos años después de haber detenido este tipo de minería. Tal vez sea posible aplicar tecnologías para la reducción de liberaciones en algunos casos, con potencial para influir en la distribución de liberaciones entre los diferentes compartimientos ambientales. Muchas minas de mercurio han detenido su producción en décadas recientes debido a la caída de la demanda en el mundo occidental.

381. Los cálculos de la producción mundial de mercurio a partir de la minería primaria del metal y del mercurio como derivado de otros procesos de minería o extracción, según lo reportado por la Encuesta Geológica de Estados Unidos, aparecen en la tabla 5-34. Sólo algunos de los países listados en la tabla tienen actividades de minería primaria de mercurio en la actualidad. Algunos de ellos son España, Argelia y Kirguistán. No obstante, Reese (1999) señala que la mayoría de los países no reportan su producción de mercurio, lo que repercute en el alto grado de incertidumbre en torno a las cifras sobre la producción mundial (PNUMA, 2002). En PNUMA (2002) se encuentra más información.

382. Esta subcategoría sólo incluye los procesos que implica la extracción primaria de mercurio. La producción y comercialización de mercurio como derivado de otros procesos de minería o extracción, así como la producción de mercurio reciclado después del consumo se abordan en otras secciones del presente documento.

*Tabla 5-34 Producción mundial estimada de mercurio primario (extracción minera) en toneladas métricas, reportada en la Encuesta Geológica de Estados Unidos Jasinski, 1994; Reese, 1997; 1999; a menos que se señale lo contrario; agregación presentada según los datos entregados por el Consejo Nórdico de Ministros) y por Hylander y Meili (2002) para el año 2000)*

País	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Argelia *1	459	414	292	368	447	224	200	240
China *2	520	470	780	510	830	230	200	200
Eslovaquia	50	50	0	0	0	20	0	0
Eslovenia	?	6	0	5	5	5	0	0
España	643	393	1497	862	863	675	600	237 *5
Estados Unidos	W	W	w	65	w	-	-	15
Finlandia *3	98	89	90	88	63	80	80	45
Kirguistán*4	1000	379	380	584	610	620	620	600
México	12	12	15	15	15	15	15	25
Rusia	60	50	50	50	50	50	50	-
Tayikistán	80	55	50	45	40	35	35	40
Ucrania	50	50	40	30	25	20	-	-
Otros países	-	223	200	-	-	830	380	448
Totales por actividad reportada (redondeados)	3000	2200	3400	2600	2900	2800	2200	

Notas: Esta tabla está inspirada en la tabla 7.2 de PNUMA, 2002;

w Dato no revelado en las referencias;

- No relevante o no disponible;

1 Se han reportado cifras (estimadas) para Argelia en 2003 y 2004 de 300 y 400 respectivamente. Fuente:

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/mercumcs05.pdf>

2 Se han reportado cifras (estimadas) para China en 2003 y 2004 de 610 y 650 respectivamente. Fuente: Ídem

3 Las cifras para Finlandia entre 1993 y 1997 fueron reportadas por el Instituto Ambiental de Finlandia (1999) y representan el mercurio derivado de la producción de zinc.

4 Se han reportado cifras (estimadas) para Kirguistán en 2003 y 2004 de 300 y 300 respectivamente. Fuente:

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/mercumcs05.pdf>

5 España ha reportado una producción de 237 toneladas métricas en minas de mercurio dentro del país en el año 2000. Se han reportado cifras (estimadas) para España en 2003 y 2004 de 150 y 200 respectivamente. Fuente:

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/mercumcs05.pdf>

383. A pesar de la caída en el consumo internacional de mercurio (la demanda mundial actual es equivale a menos de la mitad de los niveles de 1980), los suministros provenientes de fuentes alternativas y los precios bajos, la producción primaria de mercurio a partir de la minería todavía tiene lugar en algunos países. Si bien se conocen alrededor de 25 minerales principales de mercurio, prácticamente los únicos depósitos que se han explorado para la extracción de mercurio son de cinabrio (PNUMA, 2002).

384. El mercurio se extrae mediante procesos pirometalúrgicos. Si se desea información detallada de estos procesos, consúltese la publicación de la Comisión Europea (2001).

### 5.2.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-35 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de la extracción primaria y el procesamiento de mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento / disposición específicos por sector
Extracción y procesamiento	X	X	X	X		X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.2.1.3 Discusión de las entradas de mercurio

385. El mercurio es un elemento natural de la Tierra, cuya abundancia promedio es de aproximadamente 0.05 mg/kg en la corteza terrestre, aunque las cantidades varían considerablemente de un lugar a otro. Las menas de mercurio que pasan el proceso de extracción contienen, por lo general, aproximadamente 1% de mercurio, aunque los estratos de España suelen contener hasta 12-14% de mercurio (PNUMA, 2002).

386. Se han desarrollado balances de mercurio para una de las grandes instalaciones de extracción de mercurio del planeta, situada en Idrija, Eslovenia, cerrada en 1995. Para el período completo de 1961-1995, se extrajeron 9,777 toneladas de mercurio de 4.2 millones de toneladas métricas de mena. Se calcula que en el mismo período se perdieron 243 toneladas de mercurio al medio ambiente, de las cuales 168 fueron depositadas en rellenos sanitarios como desechos de fundición, 60 toneladas fueron emitidas a la atmósfera con gases de salida y 15 toneladas fueron liberadas al Río Idrijca con el agua de condensación (Kotnik *et al.*, 2004).

### 5.2.1.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

387. Véase la información anteriormente mencionada.

### 5.2.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

388. Hasta ahora no se ha intentado desarrollar factores por defecto de entradas y salidas para esta subcategoría. Si no se dispone de datos específicos, el cálculo aproximado de las liberaciones puede basarse en la información aquí proporcionada.

### 5.2.1.6 Datos principales por fuente

389. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Cantidad de mena procesada y concentraciones de mercurio en dichos materiales mineralizados;
- Cantidad de mercurio recuperado;
- Cantidad de mercurio perdido por unidad de mena procesada o por unidad de mercurio recuperada, y
- Tecnologías de control presentes y desempeño de dichos controles.

## 5.2.2 Extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio

### 5.2.2.1 Descripción de la subcategoría

390. El mercurio se ha usado en las prácticas mineras de oro y plata desde los tiempos del Imperio Romano. En términos generales, este proceso de minería implica lo siguiente: la mena húmeda (o lodo o concentrado de materiales mineralizados) se mezcla con mercurio metálico (líquido); el mercurio

disuelve el oro o la plata en el lodo; el lodo restante se enjuaga y deja una amalgama de mercurio-oro (o mercurio-plata); después se calienta la amalgama para liberar el mercurio y queda el oro o la plata impuros. Con la invención de un ajuste a este método de refinación (el proceso “patio” que usa planchas de cobre empapadas en mercurio en lugar de mercurio líquido) en la América colonizada por España, empezaron a producirse plata y oro a gran escala en el continente Americano y en Australia, el Sudeste Asiático e incluso en Inglaterra. El mercurio liberado a la biosfera debido a esta milenaria actividad puede haber alcanzado una cifra superior a las 260,000 toneladas métricas entre 1550 y 1930, después de lo cual casi se agotaron las reservas conocidas y fácilmente explotables de oro y plata, y el proceso de amalgamación de mercurio fue parcialmente reemplazado por el proceso más eficiente y a gran escala conocido como cianidación, permitiendo la extracción de oro (y/o plata) a partir de menas de baja concentración (PNUMA, 2002).

391. El incremento en los precios del oro y la situación socioeconómica predominantemente difícil en la década de 1970 produjeron una nueva fiebre del oro, sobre todo en el hemisferio sur, implicando a más de 10 millones de personas en todos los continentes. Actualmente, la amalgamación de mercurio es la principal técnica artesanal para la extracción de oro en Sudamérica (sobre todo en el Amazonas), China, el Sudeste Asiático y algunos países africanos. En Brasil se recurrió a la amalgamación de mercurio para producir 5.9 toneladas métricas de oro en 1973. Para 1988 la cifra había superado las 100 toneladas métricas por año. Durante la década de 1990 la cifra volvió a caer debido a la caída de los precios del oro y el agotamiento de los yacimientos (Universidad de Uppsala, citado en PNUMA, 2002).

392. A partir de los estudios realizados por diversos investigadores, se calcula que entre 350 y 1,000 toneladas de mercurio se han usado en el planeta cada año durante la década de 1990 para la minería de oro y plata a pequeña escala (o artesanal) (PNUMA, 2002).

### 5.2.2.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-36 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio	X	X	X			

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

393. El mercurio se libera directamente al aire, el agua, los sedimentos y los suelos a partir de estas actividades de minería. La amalgama de mercurio-oro derivada del proceso de extracción libera mercurio en forma de vapor al aire cuando se calienta durante uno de los pasos de la purificación. No es raro que la evaporación se lleve a cabo sin retención del mercurio evaporado. A veces el paso de evaporación se realiza en “retortas” semicerradas, donde partes del mercurio evaporado se condensan y reutilizan. El mercurio también está presente en los relaves de la mina, lo que puede ocasionar liberaciones futuras a la tierra, el agua y el aire. El mercurio se encuentra en las áreas de extracción, los puntos de intercambio y en los suelos, las plantas, los sedimentos y los pasos de agua donde se realizan estas operaciones. Este proceso para la extracción de oro es sencillo y barato, mas no muy eficiente en términos de recuperación de oro ni de retención de mercurio. El proceso ha conllevado una intensa contaminación por mercurio en el medio terrestre, acuático y atmosférico en grandes áreas en torno a estas operaciones, y también ha contribuido significativamente a los niveles de mercurio en el medio ambiente mundial (COWI, 2002).

### 5.2.2.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-37 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la extracción de oro y plata con proceso de amalgamación de mercurio

Datos potenciales de tasa de actividad a usarse para calcular liberaciones	Posible factor de entrada
Cantidad total de oro o plata producidos mediante estas técnicas	Estimado de la relación promedio de mercurio usado por unidad de oro o plata producida con las materias primas y la tecnología predominantes en la zona investigada

394. Es posible calcular estimados indicativos de entradas potenciales de mercurio en la minería a pequeña escala a partir de reglas básicas muy sencillas, pero más factores entran en la ecuación cuando se trata de calificar las entradas y los estimados de liberaciones de mercurio en un país o región. A continuación se comentan esos factores.

395. Los factores más importantes que determinan los factores de entrada y las liberaciones de mercurio son:

- Cantidad total de oro o plata producidos mediante ese tipo de técnicas;
- Número de mineros que participan en tales actividades;
- Porcentaje de mineros que usan retortas, las cuales limitan las liberaciones atmosféricas y permiten el reciclaje interno de mercurio, y
- Porcentaje de mineros que usan mercurio para amalgamar oro/plata de menas completas, a diferencia de los mineros que primero concentran los materiales mineralizados y después aplican mercurio a los concentrados y no a las menas completas.

396. La cantidad de mercurio usado por unidad de oro (o plata) extraída varía en función de los métodos y equipos usados, y de otros factores. Por ejemplo, si el mercurio se usa para extraer oro de la totalidad de la mena y no se emplean dispositivos de recuperación, la relación entre la cantidad de mercurio usado y la cantidad de oro extraído ( $Hg_{\text{usado}}:Au_{\text{extraído}}$ ) es  $>3:1$  (es decir, más de 3 kg de mercurio usado por 1 kg de oro obtenido). Si se usa mercurio en concentrados de materiales mineralizados (y no en las menas completas) la relación es aproximadamente 1:1. Si se trata de concentrados y se usa una retorta, la cantidad de mercurio usado es mucho menor (la relación es de aproximadamente 0.001) (ONUDI, 2003). Lacerda (1997) revisó la literatura sobre las cantidades calculadas de mercurio consumido por kg de oro producido con el proceso de amalgamación y reportó que si bien los factores de entrada varían bastante, la mayoría cae en el intervalo de 1-2 kg de mercurio consumido por 1 kg de oro producido.

397. Además del uso primario de mercurio, otra fuente de este metal en la minería en pequeña escala (aunque relativamente menor) es la movilización de impurezas de mercurio que se encuentran naturalmente en la mena de oro (COWI, 2002).

### 5.2.2.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

398. El porcentaje de mercurio perdido y las vías de liberación varían según el método de amalgamación. Si no se usan controles y la amalgama se calienta en contenedores abiertos para evaporar el mercurio, la mayor parte de la entrada de mercurio se libera al aire y no se recupera nada. Por otra parte, si se usa una retorta, las liberaciones atmosféricas disminuyen, pues parte del mercurio se recupera en la retorta y se vuelve a usar (la recuperación de mercurio en este proceso está en un rango aproximado de 51 - 99%; ONUDI, 2003).

399. De acuerdo con Lacerda, se considera que entre 65 y 87% de las entradas de mercurio fueron emitidas a la atmósfera; el resto fue liberado a la tierra y al medio acuático (Lacerda, 1997, citado en PNUMA, 2002).
400. Según Maxson y Vonkeman, se calcula que a mediados de la década de 1990 por lo menos 95% del mercurio usado se perdió al medio ambiente (Maxson y Vonkeman, 1996, citado en Scoullon *et al.*, 2000).
401. En varios países sudamericanos hay programas para promover equipos de extracción a base de mercurio que son menos contaminantes, difundir las cualidades peligrosas del mercurio y brindar asistencia e información sobre diversos aspectos ambientales, sociales y empresariales. Algunos proyectos también están dedicados a evaluar o tratar de ampliar las posibilidades y capacidades de las autoridades (y otros actores interesados) para hacer cumplir las normativas ambientales en zonas de minería de oro en pequeña escala (Mercury as a Global Pollutant, 1999, citado en PNUMA, 2002).
402. La ONUDI señala que “uno de los puntos más comunes y que causan más confusión al reportar esta relación ( $Hg_{\text{perdido}}:Au_{\text{producido}}$ ) es que algunos autores sólo reportan la relación  $Hg_{\text{usado}}:Au_{\text{producido}}$ , lo que no necesariamente refleja la cantidad de mercurio perdido. En muchos casos no se reporta la cantidad de mercurio reciclado. Es importante usar cuidadosamente la relación  $Hg_{\text{perdido}}:Au_{\text{producido}}$  como un cálculo **aproximado y regional** de las liberaciones de mercurio en varias operaciones dentro de una región MAPE. La relación  $Hg_{\text{perdido}}:Au_{\text{producido}}$  varía de una operación a otra y, cuando se produce muy poco oro, la relación puede dar la falsa impresión de que se perdió una mayor cantidad de mercurio (ONUDI, 2003). La ONUDI recomienda el enfoque descrito a continuación para calcular liberaciones de mercurio específicas *in situ*.

#### **Recomendaciones de la ONUDI para aplicar un enfoque *in situ* en el cálculo de liberaciones de mercurio a partir de las operaciones de minería**

403. El siguiente enfoque se basa en la información presentada en un documento de reciente publicación por parte de la ONUDI, titulado “Protocolos para la Evaluación Ambiental y de Salud respecto al Mercurio Liberado en Actividades de Minería Artesanal y a Pequeña Escala” (ONUDI, 2003); consulte la publicación para obtener más datos. Las emisiones de mercurio dependen fundamentalmente de los métodos de extracción y procesamiento empleados en la minería artesanal y a pequeña escala (MAPE). Es difícil obtener datos cuantitativos confiables respecto a las emisiones de mercurio en operaciones de MAPE activa, pues no es común que los mineros brinden información acerca de la cantidad de mercurio que emplean y la producción de oro es muy incierta. Sin embargo, puede recogerse información útil si se hace el esfuerzo.
404. La labor se dificulta mucho más en sitios abandonados. El análisis de los materiales geoquímicos que rodean la zona minera pueden aportar únicamente información histórica **cualitativa** acerca del nivel de las emisiones de mercurio. Además, las incertidumbres asociadas con los procesos de muestreo obstaculizan la determinación precisa acerca de la cantidad de mercurio que se pierde y va al medio ambiente.
405. El investigador debe desarrollar una relación de confianza con los mineros para poder observar la operación de minería y obtener información y cifras confiables acerca de la cantidad de mercurio perdido y oro producido en determinada actividad de extracción. Los mineros pueden mostrarse desconfiados cuando sienten que hay extraños “inspeccionando” sus actividades. El levantamiento de una encuesta detallada acerca de la cantidad de mercurio que entra y sale de cada operación es un proceso que puede llevar demasiado tiempo.
406. En operaciones de minería **activa**, entrevistar a los mineros puede favorecer la obtención de buenos cálculos de la cantidad de mercurio perdido. La ONUDI (2003) sugiere lo siguiente:
- Entreviste a los **dueños** de la operación, aquellos responsables del suministro de mercurio y otros consumibles;

- Obtenga los costos y las cantidades de todos los consumibles, como diesel, alfombra, jabón, mercurio, etc.; asegúrese de tener el dato del mercurio *comprado* mensual o semanalmente;
- Entreviste a tantos dueños como sea posible y cerciórese de que no haya inconsistencias en los datos;
- Verifique que los mineros proporcionen información correcta acerca de la cantidad (y el costo) de los consumibles por día o mes, por unidad o por grupo de unidades; asimismo, verifique esos mismos datos cuando se trate de producción de oro;
- Obtenga cálculos aproximados de la producción de oro en períodos secos y de lluvia;
- Obtenga cálculos promedio de producción de oro (los mineros pueden exagerar los cálculos de producción brindando datos de los “días más provechosos”);
- De ser posible, solicite autorización para evaluar la operación de los procesos y pese todo el mercurio introducido y recuperado;
- Tome muestras de los relaves del proceso de amalgamación y analícelos buscando mercurio; conocer el peso de los relaves producidos por día y su concentración de mercurio permite calcular la cantidad de mercurio que se pierde en las descargas de los relaves;
- Si no se usan retortas, pese la amalgama antes de la combustión y el *doré* después de la combustión;
- Si se usan retortas, pese la amalgama antes y después del proceso de retorta, y hacer lo propio con el mercurio recuperado; así, se puede tener cierta idea sobre el mercurio residual en el *doré*;
- Verifique si el saldo de mercurio obtenido mediante muestreo es consistente con los datos sobre la cantidad de mercurio comprada que reportaron los mineros.

407. A fin de obtener suficientes datos para calcular las cantidades promedio de oro producido y mercurio perdido en una zona minera, podrá repetirse el proceso anterior tantas veces como sea posible en las operaciones de extracción (ONUDI, 2003). Después se podrá analizar la información obtenida en todas las localidades para calcular rangos y promedios. Véase ONUDI (2003), donde encontrará más información.

#### 5.2.2.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

408. A partir de la información recopilada hasta ahora sobre las entradas y salidas, y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

409. El principal objetivo del uso de estos factores por defecto es obtener una impresión inicial y determinar si la subcategoría representa una fuente de liberación de mercurio significativa en el país. Por lo general, será necesario afinar los cálculos de las liberaciones (obtenidos con factores por defecto) antes de adoptar cualquier medida trascendental a partir de este tipo de datos.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

410. Como ya se dijo antes, la información concreta sobre los métodos de extracción de oro arrojará los mejores cálculos aproximados de entradas de mercurio. Si no se dispone de información específica sobre las entradas de mercurio, el factor por defecto indicado por la ONUDI puede dar un estimado sobre las posibles entradas de mercurio en este sector. Si no hay información sobre la extracción de menas completas o concentrados, y si se usan o no retortas, se recomienda calcular un



intervalo usando los factores mínimos y máximos que se muestran a continuación para indicar el posible rango de entradas.

Tabla 5-38 Factores **preliminares** de entrada por defecto para el consumo de mercurio debido a la extracción de oro con el proceso de amalgamación de mercurio

Proceso	Factores de entrada por defecto; kg de mercurio por kg de oro producido;
Extracción de la totalidad de la mena	3
Extracción a partir del concentrado	1
Extracción a partir del concentrado y con uso de retortas (véase el texto previo)	0.001

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

411. Ninguno de los datos recopilados para el presente instrumental proporciona indicaciones más específicas sobre la distribución de las liberaciones de mercurio entre los diferentes medios ambientales. Además, es muy probable que la distribución dependa de los métodos de extracción empleados y si la totalidad de la mena cruda o el lodo, el agua o sólo los concentrados de gravitación entran en contacto con el mercurio durante el proceso de extracción, y si los relaves de las minas se quedan en la tierra o son arrojados a un río (de donde se excavaron los sedimentos ricos en oro). Los factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio que aparecen a continuación son artificiales y su único propósito es indicar la posible entrada sustancial de mercurio a través de estas vías.

Tabla 5-39 Factores **preliminares** por defecto de distribución de salidas sugeridos para la extracción de oro (y plata) con amalgamación de mercurio \*1

	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Extracción de oro con procesos de amalgamación de mercurio *1	0.6	0.2	0.2	?		

Notas: 1\* La distribución presentada se fundamenta en una base de datos sumamente limitada y se incluye con el objetivo principal de señalar que las liberaciones a estos medios pueden ser significativas. La distribución real en zonas específicas puede variar mucho debido a las diferentes condiciones de producción, características locales y tipos de mena/concentrados, y debe investigarse detalladamente para calificar los estimados.

#### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

412. No se sugieren enlaces.

##### 5.2.2.6 Datos principales por fuente

413. Véanse los comentarios anteriores.

##### 5.2.2.7 Resumen del enfoque general para el cálculo de liberaciones

414. Véanse los comentarios anteriores.

### 5.2.3 Extracción y procesamiento inicial de zinc

415. Schwarz (1997) calculó que la producción mundial de zinc causa la movilización de varios cientos de toneladas métricas de mercurio cada año (el estimado mínimo para el año 1995 alcanza las 600 toneladas métricas), por lo que la producción de zinc se encuentra entre las fuentes de salidas de mercurio más importantes en términos del mercurio secundario comercializado y sus posibles liberaciones. Las emisiones atmosféricas provenientes de la producción de metales no ferrosos, por otra parte, se han reducido bastante en algunos países en las últimas décadas (Environment Canada, 2002; PNUMA, 2002).

416. Existen buenas descripciones de los procesos para la extracción de metales no ferrosos (por ejemplo Comisión Europea, 2001; Environment Canada, 2002, y Rentz *et al*, 1996). Gran parte de la descripción general del proceso incluida en esta sección ha sido tomada de dichas publicaciones. No obstante, las descripciones cuantitativas de los balances de masa en dichas operaciones (los correspondientes estimados de las entradas y la distribución de salidas) parecen ser difíciles de obtener. Por lo tanto, los aspectos cuantitativos de la descripción en esta sección representan una especie de rompecabezas de fragmentos tomados de diversas fuentes y, en muchos aspectos del texto, sólo ha sido posible proporcionar indicadores cualitativos fundados en el criterio de expertos.

417. La minería industrial a gran escala y las operaciones de extracción de metal son menos numerosas en cualquier país donde se registren, sus materias primas y configuraciones de producción varían significativamente y pueden constituir importantes fuentes de liberación de mercurio. En vista de esos factores, se recomienda ampliamente usar un enfoque de fuente puntual en el inventario y, de ser posible, recopilar datos específicos por fuente puntual en las propias empresas dedicadas a esta actividad, así como otras entidades capaces de proporcionar datos específicos sobre las instalaciones de producción.

#### 5.2.3.1 Descripción de la subcategoría

418. Las menas para la extracción de zinc (principalmente menas sulfuradas) pueden contener cantidades traza de mercurio. En el proceso de extracción del zinc de la mena se recurre a pasos para la liberación de mercurio del material rocoso. Este mercurio puede evaporarse y seguir las corrientes gaseosas propias de los procesos de extracción (en la mayoría de los casos) o seguir los flujos de procesos líquidos en función de la tecnología de extracción empleada. A menos que el mercurio se capture en etapas específicamente diseñadas para ello, grandes cantidades se liberarán a la atmósfera, la tierra y el agua. El mercurio retenido puede venderse como “calomel” ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ), por lo general comercializado para la extracción de mercurio metalizado en otras zonas o mercurio metalizado procesado *in situ*, o bien puede almacenarse o depositarse como residuos sólidos o lodosos (Environment Canada, 2002). La comercialización de mercurio recuperado como producto secundario de la extracción de zinc y otros metales no ferrosos explica una parte sustancial del suministro actual de mercurio en el mundo. Además de estas vías de liberación, parte de la entrada de mercurio (presumiblemente una fracción pequeña) sigue la coproducción de ácido sulfúrico en concentraciones traza (Comisión Europea, 2001).

419. La producción primaria de zinc generalmente incluye los siguientes procesos: concentración de mena de zinc, oxidación (tostación o sinterización) del concentrado de zinc, producción de zinc (por medio de procesos electroquímicos o térmicos), y refinación de zinc. No es raro que la producción primaria de zinc vaya acompañada de la producción de ácido sulfúrico con procesos estándar, además de la producción de varios metales derivados (como Cu, Pb, Ag y Au entre muchos otros, dependiendo de la mena y tipos de concentrado usados).

420. Para ilustrar los principios que influyen las liberaciones de mercurio a partir de la extracción de metales no ferrosos a gran escala, a continuación se describen los tipos de procesos correspondientes con un poco más de detalle y usando la producción de zinc a modo de ejemplo.

### **Extracción de mena y producción de concentrados**

421. Las menas se extraen en minas de tajo abierto o subterráneas, y las fracciones ricas en zinc se separan de la roca de desecho después de triturar y moler las partículas con procesos de separación mecánica a fin de reducir su tamaño, por lo general mediante flotación u otros procesos que implican la suspensión en agua.

422. Existen diferentes tipos de menas de zinc y su uso varía en función de la tecnología empleada para la extracción, tal como se describe a continuación; pero el mineral sulfurado ZnS, llamado “blenda de zinc” o “esfalerita” es, por mucho, el tipo de mena más importante desde el punto de vista económico para la extracción de zinc (Ullmann, 2000).

423. El concentrado producido se transporta a las plantas de extracción, las cuales pueden recibir concentrado de minas cercanas, pero también del mercado internacional. Por ejemplo, algunas plantas en Canadá reciben la mayor parte del concentrado de minas locales, mientras que grandes partes del concentrado que se procesa en plantas europeas de producción de zinc son importadas (Environment Canada, 2002; Comisión Europea, 2001).

424. Las rocas de desecho con contenido nulo o bajo de metal y las partes del material mineralizado rechazado que han sido separadas del concentrado rico en zinc (partes de los llamados relaves) suelen almacenarse *in situ* en estanques de relaves, pilas/montones de relaves o bien vuelven a alimentar las minas.

425. Las rocas de desecho y los relaves pueden contener cantidades traza de mercurio, al igual que los concentrados generados. Este material es mucho más susceptible de desgaste que los depósitos originales debido al menor tamaño de las partículas y a la mayor accesibilidad al aire y la precipitación. En el caso de las menas sulfuradas, importantes tipos de mena para la producción de diversos metales base, el desgaste libera y oxida el azufre contenido y produce ácido sulfúrico. El ácido hace los componentes (que con gran probabilidad incluirán mercurio) más solubles y, por ende, incrementa y multiplica potencialmente la lixiviación del metal al medio ambiente en comparación con el depósito mineral intocado. Este proceso se conoce como “drenaje ácido de roca” (o DAR) y se considera un grave riesgo ambiental (Comisión Europea, 2003).

426. Debido a la rápida recopilación de datos que fue posible realizar para elaborar el presente borrador preliminar del instrumental, se dispone de pocos datos sobre concentraciones de mercurio en mena cruda, concentrados de zinc y material de rechazo. No se han identificado datos cuantitativos sobre las liberaciones de mercurio al aire, el agua y la tierra a partir de las rocas de desecho y los relaves de la minería. Sin embargo, no debe descuidarse esa fuente de liberaciones, ya que incluso las concentraciones moderadas de mercurio en el material podrían movilizar cantidades sustanciales de mercurio debido a las enormes cantidades de materiales con que se trabaja en las operaciones mineras.

### **Extracción de zinc a partir de un concentrado**

427. Las plantas de extracción de zinc constituyen instalaciones complejas desde el punto de vista mecánico y químico; comprenden una cadena de operaciones unitarias, por lo general siguiendo uno de los dos principios conocidos como producción “hidrometalúrgica” y “pirometalúrgica”. La descripción que se presenta enseguida se concentra sólo en aquellos aspectos relevantes a las entradas y liberaciones de mercurio. Hay publicaciones en las que se pueden encontrar más generalidades y descripciones técnicas (Comisión Europea, 2001; Environment Canada, 2002; Rentz *et al*, 1996 y Fugleberg, 1999).

### **Tostación o sinterización**

428. El elemento común a los dos principios es la oxidación inicial (tostación o sinterización) del concentrado de zinc para eliminar la mayor parte del azufre antes de proceder con otros tratamientos. La sinterización se logra añadiendo combustibles (petróleo o gas natural), los cuales pueden constituir una fuente de entradas adicionales pero menores de mercurio, mientras que la tostación produce

energía (por oxidación del azufre) y no necesita la aplicación de combustibles (Comisión Europea, 2001). La tostación y sinterización ocurren a altas temperaturas (la tostación hasta los 1000 °C; Rentz *et al.*, 1996), y se espera que la mayor parte del mercurio presente en el concentrado se evapore en este paso de oxidación. Si las instalaciones están equipadas con una planta de producción de ácido sulfúrico (lo que no es raro), la mayor parte del mercurio inicialmente sigue el flujo de gas hasta la planta ácida.

429. Los procesos de generación de polvo, incluida la fragmentación de material sínter y tostado, pueden estar equipados con filtros de tela o de otro tipo (Rentz *et al.*, 1996) para retener (parte de) el polvo, el cual podría contener una porción menor de entradas de mercurio. Sin embargo, no se han identificado datos al respecto. Estos polvos retenidos suelen reciclarse nuevamente al interior del proceso, por lo que cualquier mercurio retenido vuelve a ingresar en el flujo de los materiales y puede acabar siendo liberado al ambiente.

### **Limpieza de gases de escape a partir de la tostación y sinterización**

430. Primero, el gas pasa por una secuencia de filtros de partículas, por lo general ciclones (partículas más grandes), precipitadores electrostáticos calientes o PES (partículas finas) y PES húmedos. También es posible controlar la humedad y las partículas mediante el uso de depuradores. Los ciclones y los PES calientes generan desechos sólidos secos que pueden contener mercurio; los PES húmedos y los depuradores generan lodos que pueden contener más mercurio que los residuos iniciales debido a las temperaturas menores y el contenido de partículas finas. Estos residuos pueden reciclarse hacia otras etapas de las operaciones de extracción o desecharse *in situ* dependiendo de la configuración de las instalaciones y el contenido de metales comercializables en los residuos.

431. Cabe destacar que se espera que el mercurio esté presente fundamentalmente en las etapas de limpieza de gases de escape y otros pasos decisivos del proceso propio de las operaciones de fundición/extracción. A diferencia de la mayoría de los otros metales pesados, es posible que partes sustanciales de mercurio no se asocien con partículas en los gases de escape y que éstas no queden retenidas en los filtros de partículas. Sin embargo, los procesos de tostación y sinterización están diseñados para oxidar los concentrados y las partes de mercurio podrían estar presentes en forma de gases oxidados. Las investigaciones recientes sobre la retención de mercurio en filtros de partículas en las instalaciones de combustión de carbón indican que el mercurio oxidado se retiene mejor que el gas de mercurio elemental en estos filtros, probablemente debido a las reacciones/la adsorción en material particulado (véase la sección 5.1.1).

432. Si el horno no cuenta con un paso de remoción primaria de mercurio después de los filtros de partículas, debe anticiparse que parte del mercurio restante (la mayor cantidad de las entradas de mercurio) sea parcialmente liberada a la atmósfera y parcialmente contenida en el ácido sulfúrico comercializado.

433. Si el horno de fundición cuenta con un paso de remoción de mercurio antes de pasar a la planta ácida, éste se separa del gas mediante métodos específicos, por ejemplo en forma de “calomel” ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  – con frecuencia usado para la producción posterior de metal de mercurio). A continuación se describen los distintos métodos empleados para ello.

434. A veces las concentraciones de mercurio se reducen aún más en el ácido sulfúrico producido antes de su venta, por ejemplo mediante el uso de procesos conocidos como “intercambio de iones superlig” (reduce las concentraciones de mercurio a  $< 5$  ppm o mg/l) o “ioduro de potasio”. Se mencionan en un documento de referencia de la UE sobre producción de metales no ferrosos se menciona que la especificación de producto [del ácido sulfúrico] es normalmente  $< 0.1$  ppm (mg/l)” (Comisión Europea, 2001).

435. Si el horno de fundición de zinc no cuenta con un paso para la remoción de mercurio ni con una planta de ácido sulfúrico, la mayor parte de su contenido se liberará a la atmósfera y lo restante quedará retenido en filtros de partículas/depuradores.

436. Hay un método de extracción denominado “lixiviación directa” o “lixiviación a presión” que no implica tostación ni sinterización inicial. En este método el concentrado pasa directamente al proceso de lixiviación en soluciones de ácido sulfúrico. Lo más probable es que el contenido de mercurio de los concentrados siga a los lodos precipitados a partir de las etapas de lixiviación y purificación.

### **Remoción de mercurio en la corriente de gas a la planta de ácido sulfúrico**

437. Existen diversos procesos para remover el mercurio de los gases sulfúricos derivados de la tostación/sinterización de concentrados de metales no ferrosos antes de que lleguen a la planta de ácido sulfúrico. Los más comunes son los procesos denominados de Boliden/Nordzink y de Outocompo (Comisión Europea, 2001). Los siguientes tipos de procesos están listados en Comisión Europea, 2001; consulte dicha referencia para obtener más detalles:

**Proceso de Boliden/Norzink:** Este proceso se basa en un depurador húmedo que usa la reacción entre el cloruro mercúrico y el mercurio para formar cloruro mercurioso (calomel), el cual se precipita a partir del líquido. El proceso se coloca en la planta ácida después del paso de lavado y enfriamiento, de manera que el gas sea polvo, el  $\text{SO}_3$  esté libre y la temperatura sea de alrededor de 30 °C. El gas se depura en una torre de lecho relleno con una solución que contiene  $\text{HgCl}_2$ . Después reacciona con el mercurio metálico que está en el gas y se precipita como calomel ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ). El calomel se retira de la solución depuradora en circulación y parcialmente regenerada por gas cloro al  $\text{HgCl}_2$ , que después se recicla a la etapa de lavado. La mezcla de mercurio se usa para la producción de mercurio o se almacena.

**Proceso de Outokumpu:** En este proceso se retira el mercurio antes del paso de lavado en la planta de ácido. El gas, a una temperatura aproximada de 350 °C, es transportado por una torre de lecho relleno donde se lava contracorriente con cerca de 90% de ácido sulfúrico a una temperatura aproximada de 190 °C. El ácido se forma *in situ* a partir del  $\text{SO}_3$  presente en el gas. El mercurio se precipita como compuesto de mercurio-selenio-cloruro. El lodo de mercurio se retira del ácido enfriado, se filtra y lava, y se envía a la producción de mercurio metálico. Parte del ácido se recicla al paso de depuración.

**Proceso de Bolchem:** Proceso húmedo. Produce sulfuro de mercurio y recicla otros reagentes dentro del mismo proceso.

**Proceso de tiocianato de sodio:** Proceso húmedo. Produce sulfuro de mercurio y regenera tiocianato de sodio.

**Filtro de carbón activado:** Proceso seco. Produce mercurio con contenido de carbón activado.

**Depurador de selenio:** Proceso húmedo. El producto no se describe (en la Comisión Europea, 2001), pero puede presumirse que se trata de compuestos mercurio-selenio.

**Filtro de selenio:** Proceso seco. Produce selenuro de mercurio.

**Proceso de sulfuro de plomo:** Proceso seco. Produce mercurio con contenido de nódulos de sulfuro de plomo.

438. Los residuos producidos son tóxicos y deben manejarse con sumo cuidado. Si se depositan los residuos que contienen mercurio, es probable que se generen liberaciones significativas a la tierra, el aire y el agua a menos que se apliquen las técnicas adecuadas para evitarlas, por ejemplo, precipitando el mercurio como compuestos de entrada y/o recubriendo y tapando la zona de depósito de desechos.

439. El mercurio retenido a partir de los procesos de remoción suele comercializarse como compuestos de mercurio crudo o material con contenido de mercurio para la producción subsiguiente de metal mercurio secundario, o como compuestos de mercurio de grado técnico.

440. En el proceso húmedo y aquellos procesos en los que se lavan los compuestos de mercurio retenidos antes de despacharlos de la planta, el agua de lavado puede contener mercurio y éste puede llegar a ambientes acuáticos de no tratarse. Si hay tratamiento, el lodo o los sólidos resultantes podrían contener mercurio, el cual podría filtrarse hasta la tierra y el agua a menos que se ejecuten prácticas adecuadas de gestión ambiental para evitar este tipo de liberaciones.

441. Como ejemplo, el lodo del tratamiento de aguas residuales provenientes de una planta alemana de producción de zinc debe llevarse a un depósito subterráneo debido a su alto contenido de mercurio y selenio (Rentz *et. al.*, 1996).

#### **Lixiviación, purificación y electrólisis (sólo en proceso hidrometalúrgico)**

442. La lixiviación implica la solubilización y neutralización en varios pasos. Mediante la lixiviación se disuelven los metales deseados y el hierro (y tal vez el material sólido de desecho presente en la mena) se separa de la solución. Estos procesos forman un residuo con contenido de hierro. Dependiendo de los principios aplicados, puede tratarse de lodos de “jarosita” o “haematita” (óxido Fe). Es común que la jarosita se deposite, mientras que la haematita puede procesarse más para formar un concentrado de plomo-plata que se usa en las fundidoras de plomo o en las industrias cementera y acerera (Rentz *et. al.*, 1996). Se espera que parte del mercurio restante después del proceso de sinterización/tostación (de quedar algo) siga esos residuos hasta los procesos de reciclaje o depósito.

443. En el paso de purificación, el soluto producido por lixiviación se purifica aún más. Esto se logra añadiendo polvo de zinc, lo que causa la precipitación de metales puros (cobre, cadmio, etc.), los cuales se procesan *in situ* o en otros hornos de fundición (Rentz *et. al.*, 1996). Partes del mercurio restante pueden seguir a dichos precipitados en el procesamiento ulterior (Bobrova *et al.*, 1990, citado por Lassen *et al.*, 2004).

444. En el paso de electrólisis el zinc se recupera en forma metálica. El  $ZnSO_4$  disuelto en la solución de ácido sulfúrico se descompone mediante corriente eléctrica directa y el zinc se deposita en cátodos de aluminio, al tiempo que se produce oxígeno en los ánodos y ácido sulfúrico en la solución. Hay pocas probabilidades de que quede mercurio antes de esta etapa del proceso. Sin embargo, no se han identificado datos al respecto. El zinc resultante puede fundirse y vaciarse para las aleaciones y productos que se deseen.

#### **Fundición (sólo proceso pirometalúrgico)**

445. El proceso pirometalúrgico predominante en la actualidad es el llamado fundición imperial, capaz de coproducir zinc y plomo (así como otros metales presentes en la materia prima). En general, la materia prima está compuesta de concentrados de zinc y concentrados de plomo, o concentrados de mezclas de zinc y plomo. El proceso pirometalúrgico puede incluir material secundario de zinc/plomo (Rentz *et. al.*, 1996). En principio, dicho material secundario podría representar una fuente menor de entradas de mercurio, pero no se considera que las entradas sean significativas.

446. En el horno, el óxido de zinc (sínter producido en la etapa de sinterización) reacciona con el monóxido de carbono (del carbón residual de petróleo o coque añadido) a temperaturas de aproximadamente 1,100 °C y el zinc se evapora y abandona el horno con los gases de desechos. Después, el zinc se condensa y disuelve en gotas derretidas de plomo (a temperatura más baja) en el “condensador a salpicadura” o “condensador de goteo”. La mezcla fundida se enfría un poco más y se separa en zinc líquido crudo y plomo. El zinc crudo se vacía directamente en lingotes o se transfiere para su refinación. El plomo del separador regresa a alimentar el condensador y se saca como “lingotes de plomo” desde el fondo del horno y recibe otro tratamiento. La escoria también se saca del fondo del horno y se transfiere a procesos adicionales (Rentz *et. al.*, 1996). Debido a las temperaturas que

prevalecen en el horno y el condensador, se espera que el mercurio en la entrada de sínter siga principalmente los gases de escape del horno y el condensador, y lo más probable es que nada o poco mercurio siga al zinc crudo y a los lingotes de plomo en sus procesos posteriores.

447. Los gases de escape del horno de fundición, el condensador a salpicadura y la granulación de escoria pueden tratarse en filtros de partículas para retener el material particulado (Rentz *et al.*, 1996; Environment Canada, 2002). Es posible reciclar algo de las partículas retenidas al interior del proceso, el resto (que podría contener mercurio) puede depositarse (Environment Canada, 2002). El depósito de residuos con contenido de mercurio: éste puede liberarse a la tierra, el aire y el agua a partir de estos desechos a menos que se apliquen las técnicas adecuadas para evitarlo.

### 5.2.3.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

448. A partir de la descripción anterior, los principales factores que determinan las liberaciones y otras salidas de mercurio a partir de la minería y extracción de zinc son los siguientes:

Tabla 5-40 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida del mercurio en la extracción y procesamiento inicial del zinc

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Minería y producción de concentrados	x	X	X	X *2		X
Extracción de zinc primario a partir del concentrado	X	X	X	X *3		X
Manufactura de productos de zinc *1						
Uso del zinc						
Disposición del zinc						

Notas: \*1: En principio, las liberaciones de mercurio podrían ocurrir debido al uso de combustibles fósiles, pero no se espera que el metal de zinc sea una fuente de entradas de mercurio en las etapas de manufactura;

\*2: En el concentrado de zinc producido;

\*3: En el ácido sulfúrico, los productos derivados del mercurio y tal vez otros productos secundarios derivados del proceso; véase el texto;

X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

449. La concentración de mercurio en la mena/el concentrado y la cantidad de mena/concentrados usados son factores importantes que determinan las liberaciones de mercurio. Como se indica más adelante, el primer aspecto puede, en principio, controlarse hasta cierto punto al elegir los tipos de mena y concentrados.

450. La presencia de un paso dedicado a la remoción de mercurio influirá considerablemente en la distribución entre las vías de liberación. Las liberaciones atmosféricas se convertirán en salidas secundarias y liberaciones a la tierra, la disposición de desechos y el agua. De producirse ácido sulfúrico, las liberaciones al ácido sulfúrico (un producto secundario comercializado) también se convertirán a las mismas vías de liberación en caso de que haya un paso para la remoción de mercurio. La presencia de este paso está motivada, en parte, por la necesidad técnica de purificar los gases antes de la conversión de gases de dióxido sulfúrico a ácido sulfúrico, de manera que si existe una planta ácida, probablemente también exista un paso para la remoción de mercurio.

451. Ya que parte de las entradas de mercurio puede quedar retenida con las partículas en los filtros de partículas de los gases de salida, la presencia de PES y filtros de tela de alta eficacia también puede

reducir en cierta medida las liberaciones atmosféricas de mercurio (si el polvo del filtro no se recicla al interior del proceso) y convertir el mercurio retenido en residuos sólidos, suspendidos y/o líquidos.

452. Las aguas de desecho producidas en las diferentes etapas del proceso pueden contener mercurio. El alcance de las liberaciones de mercurio con la descarga de agua a otros medios depende de la manera en que se hayan tratado y manejado los desechos.

453. El alcance de las liberaciones al ambiente a partir del depósito de material de desecho, incluidas las rocas de desecho, los relaves de las etapas de concentración, los residuos del proceso de extracción, los residuos de la limpieza de gases de salida y los residuos del tratamiento de aguas residuales, depende mucho del cuidado que se haya tenido en el manejo de los depósitos de desechos. Los depósitos que no cuentan con un buen manejo pueden causar liberaciones al aire, el agua y la tierra.

### 5.2.3.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-41 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la extracción y el procesamiento inicial de zinc

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Minería y producción de concentrados	Toneladas métricas de material de rechazo producido por año	g de mercurio/tonelada métrica de material de rechazo producido *1
Extracción de zinc primario a partir del concentrado	Toneladas métricas de concentrado usado por año	g de mercurio/tonelada métrica de concentrado

Notas: \*1 Estos desechos pueden incluir material de menor grado (menores concentraciones de zinc) y las concentraciones de mercurio pueden ser ligeramente más bajas que en el material mineralizado de entrada. Si no se dispone de datos sobre la concentración en materiales de desecho, es posible aplicar datos de concentración en la mena para tener un cálculo aproximado.

454. La literatura y las compilaciones de publicación reciente contienen pocos datos sobre las concentraciones de mercurio en mena, material de rechazo y concentrado para la producción de zinc. Sin embargo, la tabla 5-42 muestra algunos ejemplos.

455. Schwarz (1997) presenta un repaso de concentraciones estimadas de mercurio en esfalerita (ZnS, el mineral principal en la producción de zinc) a partir de los depósitos minerales en 19 países americanos y euroasiáticos (Canadá, Suecia, Finlandia, Australia, Japón, Kazakastán, Noruega, Rusia, España, Estados Unidos, Alemania, República Checa, Ucrania, Bulgaria, Perú, Serbia, Eslovenia, Irlanda, Italia). Los estimados detallados sobre la concentración de mercurio en esfalerita se encuentran en el anexo técnico, en la sección 8.1. Dichos estimados indican las concentraciones de mercurio en diferentes tipos de menas y concentrados ricos en esfalerita (las concentraciones de esfalerita pueden ser altas en los concentrados de zinc basados en este mineral). Además, aportan indicios acerca de los tipos de depósitos minerales que son ricos/pobres en mercurio, lo que puede servir para orientar la exploración hacia los depósitos con bajas concentraciones de mercurio. Como se dijo antes, Schwarz calculó que la producción mundial de zinc había causado la movilización de varios cientos de toneladas métricas de mercurio en 1995 (el mínimo estimado para ese año fue de 600 toneladas métricas), hacienda que la producción de zinc calificara entre las fuentes más importantes de emisiones de mercurio. A partir del análisis de las relaciones entre el mercurio y el zinc y la el historial de formación geológica en los depósitos minerales, llegó a las siguientes conclusiones:

- Los depósitos asociados a la actividad volcánica proterozoica tienen altas concentraciones de mercurio en la esfalerita (rango reportado de 4-4680; promedios 182-757 g de Hg/tonelada métrica de esfalerita)



- Los depósitos exhalativos fanerozoicos y de tipo veta tienen concentraciones moderadas de mercurio en la esfalerita
- Los depósitos de tipo Mississippi Valley tienen bajas concentraciones de mercurio en la esfalerita (rango de 0.05-186; promedios 9-14 g de Hg/tonelada métrica de esfalerita)

Tabla 5-42 Ejemplos de concentración de mercurio en mena, material de rechazo y concentrado de zinc

País	Ubicación	Tipo	Concentración promedio de Hg, g/tonelada métrica	Rango de Hg conc. en muestras, g/tonelada métrica	Fuente de datos
<b>En mena</b>					
Canadá	fábrica Brunswick		2.1		Klimenko y Kiazimov (1987)
Finlandia	Kokkola		2.8		Maag (2004)
Federación Rusa	Urales		10-25		Kutliakhmetov (2002)
<b>En material de rechazo derivado de la producción de concentrados</b>					
Canadá	fábrica Brunswick	De la producción de zinc, cobre, plomo y concentrados de compuestos	0.69 (conc. de Hg en mena 2.1)		Klimenko y Kiazimov (1987)
Federación Rusa	Urales	De la producción de zinc, cobre y concentrados de compuestos	1-9 (conc. de Hg en mena 10-25)		Kutliakhmetov (2002)
<b>En concentrados</b>					
Canadá	fábrica Brunswick		13.5		Klimenko y Kiazimov (1987)
Federación Rusa	Urales (7 fábricas de concentración)	Concentrados de zinc		20-93 *1	Mustafin <i>et. al.</i> (1998)
	Urales	Concentrados de zinc	76-123		Kutliakhmetov (2002)
	Urales medios	Concentrado de zinc a partir de pirita y/o depósitos de pirita y polimetales		1-4.5 *2	Ozerova (1986)
	Urales meridionales	Pirita y depósitos de pirita y polimetales		10-75 *3	Ozerova (1986)
	Cáucaso	Pirita y depósitos de pirita y polimetales		1-18 *4	Ozerova (1986)
Mercado mundial (?)		Rango general para concentrados de zinc		10-2000	Fugleberg (1999)
República Dominicana	Pueblo Viejo	Separación de esfalerita a partir del depósito epitelial de alta sulfuración		"Hasta 350"	Kesler <i>et. al.</i> (2003, en prensa)

Notas: \*1: Rango de concentraciones promedio entre fábricas de concentración, no se cita el número de muestras;

\*2: Rango entre promedios en tres ubicaciones;

\*3: Rango total de muestras de cuatro depósitos distintos; no se reportan promedios;

\*4: Rango total de muestras de dos depósitos distintos; no se reportan promedios.

456. La tabla 5-43 muestra un resumen de datos tomados de Schwarz (1997). El anexo técnico de la sección 8.1 contiene información más detallada; asimismo, la referencia citada incluye numerosos detalles útiles.

Tabla 5-43 Concentraciones promedio estimadas de mercurio en la esfalerita mineral en algunos de los principales tipos de depósitos minerales (fragmentos de Schwarz, 1997)

Tipo de depósito mineral	Concentración promedio de Hg en esfalerita, ppm (g/tonelada métrica)	Número de depósitos incluidos en el cálculo	Porción de la producción de zinc en minas a mediados de la década de 1980, % *1
Exhalativos (incluye depósitos asociados a la actividad volcánica proterozoica)	180	101	61
Exhalativos (no incluye depósitos asociados a la actividad volcánica proterozoica)	64	75	-
Depósitos tipo Missisipi Valley	9	61	25
Veta y otros tipos	81	86	14
Media ponderada de producción *2	123 (53)	248 (222)	

Notas: \*1 Según Tikkanen (1986);

\*2 Las cifras entre paréntesis no incluyen depósitos asociados a actividad volcánica proterozoica.

#### 5.2.3.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

##### Ejemplos de emisiones y salidas por la producción de concentrados

457. Las tablas 5-44 y 5-45 muestran dos ejemplos de distribución de mercurio en las salidas a partir de la producción combinada de diversos concentrados de metales no ferrosos. Los ejemplos son muy distintos entre sí y sólo sirven a título indicativo; sin embargo, lo que tienen en común es que el porcentaje de entradas de mercurio en concentrados de zinc es alta y las concentraciones de mercurio en los materiales de rechazo (relaves) son algo más bajas que las concentraciones de mercurio en la mena original.

Tabla 5-44 Ejemplo de la distribución de mercurio en salidas resultantes de la producción de concentrados en la fábrica Burnswik, Canadá (Klimenko y Kiazimov, 1987)

Producto	Cantidad de mena procesada, tonelada métrica por día	Contenido de Hg		Extracción %
		mg/kg	Kg por día	
Mena de entrada	8,575	2.1	18.24	100
Concentrado de cobre	73.7	2.3	0.15	0.87
Concentrado de plomo	400	2.7	1.09	5.97
Concentrado de compuestos	70	9.1	0.64	3.5
Concentrado de zinc	900	13.5	12.22	67.0
Material de rechazo	7,140	0.69	4.94	27.0

Tabla 5-45 Ejemplo de la distribución de mercurio en salidas resultantes de la producción de concentrados en la fábrica Uchalinsky, Federación Rusa (Kutliakhmetov, 2002)

Mena, concentrado, desechos	Promedio, gramo de Hg/tonelada métrica	Cantidad relativa de mercurio, %
Mena	10-25	100
Concentrado de pirita	5-15	36-50
Concentrado de cobre	28-41	10-14
Concentrado de zinc	76-123	35-48
Materiales de rechazo	1-9	2-3

### Ejemplos de emisiones a partir de la producción de zinc metálico

458. Como se dijo antes, las descripciones cuantitativas de los balances de masa de mercurio en relación con las obras de extracción de zinc (entradas correspondientes y estimados de la distribución de salidas) no aparecen con frecuencia en la literatura y los compendios recientes. Sí se dispone de algunos ejemplos de factores de emisión, pero sólo para las emisiones atmosféricas de mercurio y sin enlaces a las entradas correspondientes de mercurio con concentrados o mena.

459. Un ejemplo tomado de una planta de producción de zinc en Rusia señala que alrededor de 7% de las entradas de mercurio con concentrado de zinc llegan al material sínter debido a los pasos adicionales de los procesos de extracción de zinc, mientras que alrededor de 93% siguen los gases generados de la sinterización. En el ejemplo, un estimado de 24% de las entradas de mercurio se retiene en los polvos del filtro electrostático que sirven como entrada para la producción de cobre y plomo (los filtros de ciclón también retienen mercurio con contenido de polvo, pero éste alimenta nuevamente la línea de sinterización). El 69% restante sigue el gas hasta la planta ácida donde se distribuye entre lodos de depuración Hg/Se, el producto de ácido sulfúrico y residuos de agua a partir de una purificación del ácido (Bobrova *et al.*, 1990). Parece haber algo de incertidumbre en torno a si las liberaciones atmosféricas de mercurio están adecuadamente explicadas en el ejemplo (Lassen *et al.*, 2004), por lo que estas cifras podrían considerarse como ilustraciones del flujo de las partes de las entradas de mercurio que no se liberan directamente a la atmósfera a partir de la sinterización.

460. En un ejemplo en Finlandia, el mercurio removido de los procesos se vende como mercurio metálico secundario o derivado. Se ha reportado que las liberaciones de mercurio al agua a partir de la producción como un todo alcanzan la cifra de 0.02 g Hg/tonelada métrica de zinc producido. Se ha reportado que las salidas de mercurio con los lodos de jarosita depositados están por debajo de los 100 g/tonelada métrica de lodo de jarosita (Fugleberg, 1999), correspondiendo aproximadamente a menos de 40g de Hg/tonelada métrica de Zn producida (cálculo basado en Fugleberg, 1999). No se han reportado las salidas de mercurio con azufre depositado. Las liberaciones de mercurio al aire por cantidades de zinc producido no se reportan en la referencia citada (Fugleberg, 1999), pero parecen ser bajas (Instituto Finlandés de Medio Ambiente, 2003).

461. La tabla 5-46 presenta ejemplos de factores de emisión atmosférica de mercurio para el caso de emisiones directas a partir de la producción de zinc. En términos generales, los factores bajos indicarían que gran parte de las entradas de mercurio se transfiere al mercurio secundario comercializado (metal o compuestos) y/o a depósitos de desechos *in situ* con potencial de emitir nuevas liberaciones a todos los medios. Es posible que pequeñas partes de las entradas de mercurio se transfieran a las liberaciones al agua como consecuencia de los procesos húmedos en los sistemas de reducción de emisiones (a veces denominadas transferencias “de medios cruzados”).

Tabla 5-46 Ejemplos de factores de emisión atmosférica para las emisiones atmosféricas directas derivadas de la producción de zinc

País/ Región	Instalación/ ubicación	Liberaciones atmosféricas de mercurio reportadas por salida de producto	Indicaciones del nivel tecnológico de reducción de emisiones (liberaciones atmosféricas)	Observaciones	Referencia
Canadá	Teck Cominco, Columbia Británica;	0.41 g Hg/toneladas métricas de producto (zinc, plomo, etc.)	Parece ser de alto nivel: ciclones, PES, depuradores, remoción de Hg, planta ácida.	Extracción de plomo piromet. y zinc hidromet. paralela, semi-integrada, los datos no permiten asignar zinc vs. plomo	Environment Canada, 2002
	Noranda CEZ, Québec	0.002 g de Hg/toneladas métricas de producto (zinc, etc.)	Parece ser de alto nivel: ciclones, PES, depuradores, remoción de Hg, planta ácida.	Producción hidrometalúrgica de zinc	Environment Canada, 2002 y 2004

462. De acuerdo con la Comisión Europea (2001), la generación de mercurio secundario en la producción de otros metales no ferrosos alcanzó la cifra aproximada de 350 toneladas métricas en Europa en el año 1997. En general, estos procesos producen mercurio o calomel en el rango de 0.02 - 0.8 kg de mercurio por tonelada métrica de (otros) metales producidos, dependiendo del contenido de mercurio en los concentrados de entrada. La tabla 5-47 muestra ejemplos para la producción específica de zinc. Se presume que estas cifras y ejemplos hacen referencia a condiciones propias de la UE o de Europa en relación con la aplicación de sistemas para la reducción de emisiones atmosféricas, donde la retención de mercurio podría estar cerca del máximo en comparación con la situación internacional en términos generales.

Tabla 5-47 Ejemplos de salidas de mercurio secundario a partir de la producción de zinc (en condiciones presuntamente europeas o de la UE), tomados de TU Aachen (1999), citado por la Comisión Europea (2001)

Etapa y tipo de producción	Mercurio secundario, Kg de derivado /tonelada métrica de zinc producida *1
Tostador/planta de ácido sulfúrico en instalaciones hidrometalúrgicas	0.3-0.8
Sinterización/planta de ácido sulfúrico en proceso de horno de fundición imperila (proceso pirometalúrgico)	0.15

463. La Comisión Europea (2001) presenta concentraciones indicativas de mercurio en “efluentes típicos de la limpieza de gases” (aguas residuales) en el rango de 0.1-9 mg/l; nuevamente, es probable que esta cifra se refiera a la situación en la UE (o en Europa).

464. Feng *et al.* (2004) reportan la amplia contaminación por mercurio en el entorno local debido a la producción de zinc con tecnologías autóctonas en la zona de Hezhang, provincia Guizhou, China. Feng *et al.* midieron las concentraciones de mercurio en las menas y los carbones usados, y en los residuos de la fundición y la cenizas del carbón, y calcularon los siguientes factores de emisión atmosférica para la producción de zinc en las circunstancias señaladas: de la mena sulfurada: 155 g de Hg/tonelada métrica de zinc producida; de la mena de óxido: 78.5 g de Hg/tonelada métrica de zinc producida. Estas cifras son muy superiores a los estimados occidentales para fines de la década de 1980: 25 g de Hg/tonelada métrica de zinc producida (Nriagu y Pacyna, 1988). Asimismo,

demonstraron que el mercurio en los residuos de la fundición de zinc es fácilmente lixiviable por agua. Por desgracia, no reportan los factores de liberación a la tierra y el agua, ni las concentraciones de mercurio en las menas de entrada.

465. Una de las publicaciones del PNUMA (2002) cita a Pirrone *et al.* (2001) como referencia de los niveles de eficacia de una selección de técnicas para la remoción de mercurio presentados en la tabla 5.48. Varias de ellas se emplean en los hornos fundidores de metales no ferrosos.

Tabla 5-48 Eficacia de las técnicas para la remoción del mercurio en gases de salida (Pirrone et al., 2001)

Técnica de control	Eficacia típica en remoción de Hg	Contenido de Hg medido en caudal descendente ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Filtro de selenio	> 90%	< 10
Depurador de selenio	90-95%	200
Filtro de carbón	90-95%	10
Proceso de cloruro de Odda	n.a.	50-100
Proceso de sulfuro de plomo	90-99%	10-50

### 5.2.3.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

466. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas, y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos. Asimismo, los factores por defecto reflejan criterios expertos basados únicamente en datos sintetizados y, hasta ahora, no se ha aplicado ningún enfoque cuantitativo sistemático (es decir, concentración ponderada por consumo y derivación de factores de distribución) en el desarrollo de los factores.

467. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

468. Debido a la falta de datos, no es posible definir factores por defecto para los procesos de minería y concentración. Cabe destacar que este hecho implica que los cálculos estimados de liberaciones de mercurio a partir de los factores por defecto tenderán a subestimar el total de liberaciones en el sector.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

469. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en la composición del concentrado del que se trate arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

470. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en el concentrado usado en la etapa de extracción, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-49 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto). Si se decide no

calcular en forma de intervalos, el uso del valor máximo se recomienda a fin de detectar la posible importancia de la categoría de fuente para investigaciones ulteriores. La aplicación de un estimado máximo no implica automáticamente que las liberaciones reales tengan esa magnitud, sólo señalan la conveniencia de realizar más investigaciones.

Tabla 5-49 Factores preliminares de entrada por defecto para el mercurio en concentrados para la producción de zinc

Material	Factores de entrada por defecto; g de mercurio por tonelada métrica de concentrado; (mínimo - máximo)
Concentrado de zinc	10 - 200

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

471. Como se dijo antes, son pocos los datos que permiten definir los factores por defecto para la distribución de salidas en el caso de la extracción de zinc a partir de concentrados. No obstante, se definió una serie preliminar de factores por defecto para esta subcategoría con base en los datos disponibles. Las salidas atmosféricas por defecto se derivan de las técnicas para la remoción de mercurio en gases de salida que sintetiza Pirrone *et al.* (2001), ya mencionado. La distribución equitativa de las salidas de mercurio en tierra, productos secundarios y tratamiento/disposición específicos por sector es artificial, pues no se encontraron datos correlativos que indicaran las relaciones correspondientes, y sólo tiene por objetivo señalar la posibilidad de que cantidades significativas de mercurio sigan estas vías. Como se dijo antes, las liberaciones de mercurio al agua/las aguas residuales pueden ocurrir en este sector, pero no se dispone de datos correlativos para definir estimados más precisos.

472. En el caso de las instalaciones para extracción de zinc que sólo emplean tecnología de lixiviación directa, las liberaciones atmosféricas reales pueden ser inferiores al factor por defecto establecido, mientras que las liberaciones a residuos sólidos podrían ser superiores. En el caso de instalaciones para la extracción de zinc con tecnología altamente eficaz para la remoción de mercurio, las liberaciones atmosféricas reales pueden ser inferiores al factor por defecto establecido, mientras que las salidas con productos secundarios con contenido de mercurio y las liberaciones a los residuos sólidos podrían ser superiores.

Tabla 5-50 Factores preliminares de distribución por defecto en las salidas de mercurio causadas por la extracción de zinc a partir de los concentrados

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra *1	Productos *1, *2	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector *1
Minería y concentración	?	?	?	?	x	x
Producción de zinc a partir del concentrado	0.1	?	0.3	0.3		0.3

Notas: \*1 El depósito de los residuos varía de un país a otro, y quizás incluso de una instalación a otra; puede hacerse en la tierra, en la mina, en diques municipales, muchas veces *in situ*. La distribución equitativa de las salidas restantes de mercurio en tierra, productos secundarios y tratamiento/disposición específicos por sector es artificial, pues no se encontraron datos correlativos que indicaran las relaciones correspondientes y sólo tiene por objetivo señalar la posibilidad de que cantidades significativas de mercurio sigan estas vías.

\*2: Entre los productos secundarios que podrían tener contenido de mercurio destacan los siguientes:

calomel, mercurio elemental, lodos para la recuperación de mercurio fuera de la planta, ácidos de lavado de grado bajo, ácido sulfúrico, azufre líquido y sólidos depositados durante la filtración u otros residuos vendidos o transferidos a otras actividades de producción de metales u otros sectores.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

473. No se sugieren enlaces.

#### 5.2.3.6 Datos principales por fuente

474. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en las menas y los concentrados extraídos y procesados en la fuente;
- Cantidad de mena/concentrados extraídos y procesados, y
- Datos medidos sobre la distribución de las salidas de mercurio con (preferentemente todas) las corrientes de salida, sin olvidar los porcentajes de mercurio retenidos por equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares);

475. La presencia de una unidad para la remoción de mercurio en una planta de extracción puede indicar que gran parte de las emisiones de mercurio no se libera a la atmósfera, sino que se comercializa como producto secundario o se almacena *in situ*.

### 5.2.4 Extracción y procesamiento inicial de cobre

476. Al igual que en el caso del zinc, las descripciones cuantitativas de los balances de masa en operaciones de extracción de cobre (los correspondientes estimados de las entradas y la distribución de salidas) parecen ser difíciles de obtener. Por lo tanto, los aspectos cuantitativos de la descripción en esta sección representan una especie de rompecabezas de fragmentos tomados de diversas fuentes.

477. La minería industrial a gran escala y las operaciones de extracción de metal son menos numerosas en cualquier país donde se registren, sus materias primas y configuraciones de producción varían significativamente y pueden constituir importantes fuentes de liberación de mercurio. En vista de esos factores, se recomienda ampliamente usar un enfoque de fuente puntual en el inventario y, de ser posible, recopilar datos específicos por fuente puntual en las propias empresas dedicadas a esta actividad, así como otras entidades capaces de proporcionar datos específicos sobre las instalaciones de producción.

#### 5.2.4.1 Descripción de la subcategoría

478. Las menas para la extracción de cobre (principalmente menas sulfuradas) pueden contener cantidades traza de mercurio. En el proceso de extracción del cobre de la mena se recurre a pasos para la liberación de mercurio del material rocoso. Este mercurio puede evaporarse y seguir las corrientes gaseosas propias de los procesos de extracción (en la mayoría de los casos) o seguir los flujos de procesos líquidos en función de la tecnología de extracción empleada. A menos que el mercurio se capture en etapas específicamente diseñadas para ello, grandes cantidades se liberarán a la atmósfera, la tierra y el agua. El mercurio retenido puede venderse como “calomel” ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ), por lo general comercializado para la extracción de mercurio metalizado en otras zonas o mercurio metalizado procesado *in situ*, o bien puede almacenarse o depositarse como residuos sólidos o lodosos (Environment Canada, 2002). La comercialización de mercurio recuperado como producto secundario de la extracción de metales no ferrosos explica una parte sustancial del suministro actual de mercurio en el mundo. Además de estas vías de liberación, parte de la entrada de mercurio (presumiblemente una fracción pequeña) sigue la coproducción de ácido sulfúrico en concentraciones traza (Comisión Europea, 2001).

### Proceso

479. Los principales pasos en la extracción de cobre incluyen la producción de concentrado rico en cobre a partir de la mena cruda, la tostación del concentrado (para producir “calcinado”) y la fundición en un horno, ambas a altas temperaturas. El proceso completo incluye numerosos pasos, el último de ellos se conoce como “conversión” y su objetivo es eliminar el hierro restante y el azufre presente en el material, dejando cobre “ampollado” fundido (US EPA 1997a). Las instalaciones donde se lleva a cabo la totalidad del proceso para la producción de cobre a partir de la mena se conocen popularmente como “fundidoras de cobre primario”. El proceso detallado está descrito en publicaciones de la US EPA (1997a) y la Comisión Europea (2001). No se espera que la refinación posterior del cobre ampollado cause importantes liberaciones de mercurio (por lo menos en lo concerniente al mercurio originado en la mena de cobre).

### Minería de mena y producción de concentrados

480. Las menas se extraen en minas de tajo abierto o subterráneas, y las fracciones ricas en cobre se separan de la roca de desecho después de triturar y moler las partículas con procesos de separación mecánica a fin de reducir su tamaño, por lo general mediante flotación u otros procesos que implican la suspensión en agua.

481. Existen diferentes tipos de mena de cobre, pero las de mayor importancia económica son sulfuros como la calcopirita, la bornita y la calcocita (Ullmann, 2001). En algunos casos se extrae cobre de depósitos minerales que contienen otros metales, por ejemplo depósitos de cobre y níquel y depósitos de cobre, zinc y pirita (Krivtsov y Klimenko, 1997).

482. El concentrado producido se transporta a las plantas de extracción, las cuales pueden recibir concentrado de minas cercanas, pero también del mercado internacional.

483. Las rocas de desecho con contenido nulo o bajo de metal y las partes del material mineralizado rechazado que han sido separadas del concentrado rico en cobre (partes de los llamados relaves) suelen almacenarse *in situ* en estanques de relaves, pilas/montones de relaves o bien vuelven a alimentar las minas.

484. Las rocas de desecho y los relaves pueden, al igual que los concentrados generados, contener cantidades traza de mercurio. Este material es mucho más susceptible de desgaste que los depósitos originales debido al menor tamaño de las partículas y a la mayor accesibilidad al aire y la precipitación. En el caso de las menas sulfuradas, importantes tipos de mena para la producción de diversos metales base, el desgaste libera y oxida el azufre contenido y produce ácido sulfúrico. El ácido hace los componentes (que con gran probabilidad incluirán mercurio) más solubles y, por ende, incrementa y multiplica potencialmente la lixiviación del metal al medio ambiente en comparación con el depósito mineral intocado. Este proceso se conoce como “drenaje ácido de roca” (o DAR) y se considera un grave riesgo ambiental. (Comisión Europea, 2003).

485. Como resultado de la rápida compilación de datos que fue posible para la elaboración del presente borrador del instrumental, se han identificado pocos datos respecto a las concentraciones de mercurio en menas crudas, concentrados de cobre y material de rechazo. No se han identificado datos cuantitativos sobre las liberaciones de mercurio al aire, el agua y la tierra a partir de las rocas de desecho y los relaves. No obstante, se recomienda no obviar esta fuente de liberaciones, ya que incluso las concentraciones moderadas de mercurio en el material podrían causar la movilidad de cantidades sustanciales de mercurio debido a la enorme cantidad de materiales que se manejan durante las operaciones de minería.

### Extracción de cobre a partir de concentrado

486. Como ya se señaló, la extracción de cobre entraña una compleja red de procesos, cuya descripción exhaustiva excede los propósitos del presente instrumental. En relación con el flujo de mercurio y las vías de liberación, la extracción de cobre normalmente se asemeja hasta cierto punto al



proceso “pirometalúrgico” descrito para el caso del zinc (véase la sección 5.2.3). Una de las principales diferencias entre ambos procesos es que muchos hornos de fundición de cobre no aplican la tostación/sinterización antes de que el concentrado sea llevado al horno, sólo aplican el proceso de secado. En consecuencia, mucho del azufre (y posiblemente también mercurio) se queda en el material fundido transportado al siguiente paso del proceso, denominado conversión, donde se ventila mediante soplado de aire/oxígeno. Otra diferencia en relación con la producción de zinc es el paso conocido como refinación a fuego después de la conversión. Se añaden hidrocarburos (gas) o, a veces, leña “verde” al carbón fundido que contiene los materiales para reducir los óxidos metálicos a metales elementales y otros componentes (Comisión Europea, 2001). Estas fuentes de carbón constituyen fuentes adicionales de entradas de mercurio a los procesos de extracción; sin embargo, no se dispone de datos para cuantificar su participación en las liberaciones de mercurio.

487. La chatarra de cobre reciclada puede añadirse a las materias primas para las etapas de fundición, mas no se considera como una fuente importante de entradas de mercurio. A veces se produce cobre y zinc o cobre y níquel en líneas de proceso paralelas y semi-integradas en los mismos hornos de fundición (Environment Canada, 2002).

488. Las liberaciones primarias de mercurio a partir de la materia prima tienen lugar durante la etapa de secado/tostación (si forma parte del proceso) y en el horno de fundición. Además, los convertidores y hornos de refinación pueden emitir el mercurio residual que haya quedado en el flujo de materiales a través del proceso de extracción de cobre (US EPA, 1997a). Si no se incluye un paso de remoción de mercurio en el tratamiento del gas antes de la planta ácida la mayoría de las liberaciones se perderán a la atmósfera. Si los gases de escape provenientes de los procesos de secado/tostación, horno y/o convertidor se pasan por filtros de partículas con alto nivel de eficacia (EPS y/o filtros de tela), parte del mercurio contenido en el gas podría retenerse con las partículas.

#### 5.2.4.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-51 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de la extracción y el procesamiento inicial del cobre

<b>Etapas del ciclo de vida</b>	<b>Aire</b>	<b>Agua</b>	<b>Tierra</b>	<b>Productos *2</b>	<b>Desechos generales</b>	<b>Tratamiento/ disposición específicos por sector</b>
Desechos de la minería y producción de concentrados	x	X	X			X
Extracción de cobre primario a partir del concentrado	X	X	X	X		X
Manufactura de cobre refinado y productos *1						
Uso de cobre						
Disposición de cobre						

Notas: \*1: En principio, las liberaciones de mercurio podrían ocurrir debido al uso de combustibles fósiles, pero no se espera que el metal de cobre sea una fuente de entradas de mercurio en las etapas de refinación y manufactura;

\*2: En el ácido sulfúrico, los productos derivados del mercurio y tal vez otros productos secundarios derivados del proceso;

X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

489. La concentración de mercurio en la mena/el concentrado y la cantidad de mena/concentrados empleados son factores importantes para la determinación de liberaciones de mercurio.

490. La presencia de un paso dedicado a la remoción de mercurio influirá considerablemente en la distribución entre las vías de liberación. Las liberaciones atmosféricas se convertirán en salidas secundarias y liberaciones a la tierra, la disposición de desechos y el agua. De producirse ácido sulfúrico, las liberaciones al ácido sulfúrico (un producto secundario comercializado) también se convertirán a las mismas vías de liberación en caso de que haya un paso para la remoción de mercurio. La presencia de este paso está motivada, en parte, por la necesidad técnica de purificar los gases antes de la conversión de gases de dióxido sulfúrico a ácido sulfúrico, de manera que si existe una planta ácida, probablemente también exista un paso para la remoción de mercurio.

491. Ya que parte de las entradas de mercurio puede quedar retenida con las partículas en los filtros de partículas de los gases de salida, la presencia de PES y filtros de tela de alta eficacia también puede reducir en cierta medida las liberaciones atmosféricas de mercurio (si el polvo del filtro no se recicla al interior del proceso) y convertir el mercurio retenido en residuos sólidos, suspendidos y/o líquidos.

492. Las aguas de desecho producidas en las diferentes etapas del proceso pueden contener mercurio y deben recibir el tratamiento adecuado para evitar o minimizar las liberaciones al agua.

493. El alcance de las liberaciones al ambiente a partir del depósito de material de desecho, incluidas las rocas de desecho, los relaves de las etapas de concentración, los residuos del proceso de extracción, los residuos de la limpieza de gases de salida y los residuos del tratamiento de aguas residuales, depende mucho del cuidado que se haya tenido en el manejo de los depósitos de desechos. Los depósitos que no cuentan con un buen manejo pueden causar liberaciones al aire, el agua y la tierra.

### 5.2.4.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-52 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la extracción y el procesamiento inicial de cobre

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Desechos de minería y producción de concentrados	Toneladas métricas de material de rechazo producido por año	g de mercurio/tonelada métrica de material de rechazo producido *1
Entrada a la extracción de cobre primario a partir del concentrado	Toneladas métricas de concentrado usado por año	g de mercurio/tonelada métrica de concentrado

Notas: \*1 Estos desechos pueden incluir material de menor grado (menores concentraciones de plomo) y las concentraciones de mercurio pueden similares a la concentración en el material mineralizado de entrada. Si no se dispone de datos sobre la concentración en materiales de rechazo, es posible aplicar datos de concentración en la mena para tener un cálculo aproximado.

Tabla 5-53 Ejemplos de concentración de mercurio en mena, material de rechazo y concentrados de cobre

País	Ubicación	Tipo	Concentración promedio de Hg, g de Hg/tonelada métrica	Rango de concentración de Hg en muestras, g/tonelada métrica	Fuente de datos
<b>En mena</b>					
Canadá	Fábrica Brunswick		2.1		Klimenko y Kiazimov (1987)
Federación Rusa	Urales		10-25		Kutliakhmetov (2002)
	Urales meridionales, 4	Cobre y pirita, masiva	9.8-13 *1		Fursoy (1983)

Pais	Ubicación	Tipo	Concentración promedio de Hg, g de Hg/tonelada métrica	Rango de concentración de Hg en muestras, g/tonelada métrica	Fuente de datos
	ubicaciones				
Kazakastán	Kusmurun	Cobre y pirita, masiva	9.2	4.3-16.70 (11 muestras)	Fursov (1983)
	Dzhezhgagan	Caliza cuprosa, masiva (calcopirita)	3.2	2.8-3.68 (15 muestras)	Fursov (1983)
	Dzhezhgagan	Caliza cuprosa, diseminada (bomita)	1.5	1.23-1.87 (11 muestras)	Fursov (1983)
	Counrad	Cobre y porfiria, diseminada (primaria)	0.9	0.76-1.02 (8 muestras)	Fursov (1983)
<b>En material de rechazo derivado de la producción de concentrados</b>					
Canadá	Fábrica Brunswick	De la producción de zinc, cobre, plomo y concentrados compuestos	0.69 (en Hg conc. de mena 2.1)		Klimenko y Kiazimov (1987)
Federación Rusa	Urales	De la producción de zinc, cobre y concentrados compuestos		1-9 (en Hg conc. en mena 10-25)	Kutliakhmetov (2002)
<b>En concentrados</b>					
Canadá	Fábrica Brunswick		2.3		Klimenko y Kiazimov (1987)
Federación Rusa	Urales	De mena tipo pirita de cobre		28-41	Kutliakhmetov (2002)
	Desconocida	De tipo pirita y polimetálico		0.22 - 65	Bobrova <i>et al.</i> , (1990); Ozerova (1986)
	Desconocida	De tipo plomo y zinc estratiforme		2 - 290	Bobrova <i>et al.</i> , (1990); Ozerova (1986)
	Desconocida	De tipo pirita de cobre		0.3 - 150	Bobrova <i>et al.</i> , (1990); Ozerova (1986)
	Desconocida	De arenisca cuprífera		4	Bobrova <i>et al.</i> , (1990); Ozerova (1986)
	Desconocida	De tipo vanadio-hierro-cobre		70	Bobrova <i>et al.</i> , (1990); Ozerova (1986)
	Desconocida	De tipo cobre-molibdeno		0.02	Bobrova <i>et al.</i> , (1990); Ozerova (1986)
	Desconocida	De tipo cobre-níquel		0.14 - 0.4	Bobrova <i>et al.</i> , (1990); Ozerova (1986)
General, cobertura desconocida	Geografía desconocida		0.5 - 8		Fuente confidencial europea

Notas: \*1: Rango entre promedios en diversas ubicaciones, 38 muestras en total.

#### 5.2.4.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

##### Ejemplos de emisiones y salidas por la producción de concentrados

494. La sección dedicada a la extracción de zinc (véanse las tablas 5-44 y 5-45 en la sección 5.2.3) presenta, bajo el mismo subtítulo, dos ejemplos relativos a la distribución de mercurio en las salidas derivadas de la producción de concentrados de metales no ferrosos (concentrados de cobre incluidos). Los ejemplos son muy distintos y no necesariamente son representativos, se han incluido a título indicativo.

##### Ejemplos de emisiones por la producción de cobre metálico

495. Como se dijo antes, las descripciones cuantitativas de los balances de masa de mercurio en relación con las obras de extracción de cobre (entradas correspondientes y estimados de la distribución de salidas) no aparecen con frecuencia en la literatura y los compendios recientes. No obstante, Yanin (en Lassen *et al.*, 2004) intentó desarrollar un panorama general completo sobre la distribución de salidas para hornos de fundición de cobre crudo en Rusia; su trabajo aparece resumido en la tabla 5-

54. Los estimados se basan en consideraciones técnicas y deberían de tomarse como cifras meramente indicativas.

496. Para efectos de comparación de los factores de emisión descritos a continuación, es posible calcular un ejemplo a partir de los estimados de Yanin ya citados. Con una concentración de mercurio de 13.8 g/de tonelada métrica en el concentrado usado, una concentración de cobre de 15% en el mismo concentrado y una tasa de extracción de 93% de la entrada de cobre, el factor calculado para la emisión atmosférica sería de 13.8 g de Hg/tonelada métrica de conc./ 0.15 de tonelada métrica de Cu/tonelada métrica de conc. \* 0.93 = 11.7 g de Hg/tonelada métrica de cobre producido. La cifra es comparable al factor de emisión atmosférica para el horno de fundición de Hudson Bay en Canadá, incluido en la tabla 5-55.

Tabla 5-54 Estimados indicativos de la distribución de salidas de mercurio a partir de los hornos de fundición de cobre en condiciones rusas (Yanin, en Lassen et al., 2004)

Vía de liberación	Atmósfera	Agua residual	Escoria vertida	Lodo vertido	“Desechos sólidos de arseniato” vertidos	“Desechos sólidos de plomo” vendidos para la extracción de Pb	Azufre líquido *2	Ácido de lavado *2	Suma
Porción de entradas de Hg *1	0.12	0.02	0.04	0.38	0.06	0.11	0.14	0.14	1.00
Salidas en g de Hg/ tonelada métrica producida de cobre, para un ejemplo con entrada de 13.8 g de Hg/tonelada métrica de concentrado	0.12	0.02	0.04	0.38	0.06	0.11	0.14	0.14	1.00

Notas: \*1 Cifras aquí corregidas para el reciclaje interno de polvo de filtros hacia el horno (supuesta estabilidad);

\*2 Es muy probable que el azufre líquido (producto secundario) y el ácido de lavado sean vendidos; sin embargo, la referencia no lo menciona.

497. Se dispone de algunos ejemplos de factores de emisión, pero sólo para las emisiones atmosféricas de mercurio y sin enlaces a las entradas correspondientes de mercurio con concentrados o mena.

498. La tabla 5-55 presenta ejemplos de factores de emisión atmosférica de mercurio para el caso de emisiones directas a partir de la producción de cobre. En términos generales, los factores bajos indicarían que gran parte de las entradas de mercurio se transfiere al mercurio secundario comercializado (metal o compuestos) y/o a depósitos de desechos *in situ* con potencial de emitir nuevas liberaciones a todos los medios. Es posible que pequeñas partes de las entradas de mercurio se transfieran a las liberaciones al agua como consecuencia de los procesos húmedos en los sistemas de reducción de emisiones (a veces denominadas transferencias “de medios cruzados”). En el caso de los hornos de fundición de níquel/cobre mencionados, la escoria resultante se usa en la construcción de caminos y líneas de ferrocarril.

499. Con base en los datos de emisiones reportados por las propias autoridades de 7 hornos de fundición de cobre primario en EE.UU. para el año 1993, la US EPA calculó que la totalidad de las emisiones atmosféricas de mercurio fue de 57 kg por año en 1994 para hornos de fundición con capacidad de producir aproximadamente 1.4 millones de toneladas métricas de metal (capacidad

1995/96)(US EPA, 1997b). Las tasas de liberación atmosférica correspondientes por salida de producto pueden calcularse en aproximadamente 0.04g de Hg/tonelada métrica de “capacidad” de producción de metal.

Tabla 5-55 Ejemplos de factores de emisión de liberaciones atmosféricas directas a partir de la producción de cobre

Pais/región	Instalación (ubicación)	Liberaciones atmosféricas de mercurio reportadas por salida de producto	Indicaciones del nivel tecnológico de reducción de emisiones (liberaciones atmosféricas)	Observaciones	Referencias
EE.UU.	Promedio nacional	0.04g de Hg/tonelada métrica de “capacidad” de producción de metal		Liberaciones atmosféricas de Hg autorreportadas. No queda claro si la “capacidad” refleja la producción real.	US EPA (1997a)
Canadá	Hudson Bay M&S, Manitoba	8.2 g de Hg/toneladas métricas de producto (zinc, cobre, etc.)	Parece moderado: PES, pero sin remoción de Hg o planta ácida		Environment Canada (2002)
	Noranda Horn	1.8 g de Hg/toneladas métricas de producto (cobre, etc.)	Horno y nueva línea de conversión equipada con PES, remoción de Hg y planta ácida; los convertidores viejos que procesan partes de la materia prima sólo cuentan con PES	También procesa cobre reciclado.	Environment Canada (2002)
	Inco Copper Cliff	0.01 g de Hg/toneladas métricas de producto (cobre, níquel, etc.)	Línea de escape de gases en hornos con filtro MP y planta ácida, pero sin remoción de Hg; etapas de secado y conversión de gases de escape sólo con PES	Fundición combinada níquel/cobre. Parte de la escoria del horno se usa en la construcción de caminos y líneas ferroviarias. Aparentemente, la materia de alimentación podría tener concentraciones de mercurio menores a las de otros hornos de fundición canadienses mencionados aquí (observación de los autores del instrumental)	Environment Canada (2002)

500. De acuerdo con la Comisión Europea (2001), la generación de mercurio secundario en la producción de metales no ferrosos (además de la minería primaria de mercurio) alcanzó la cifra aproximada de 350 toneladas métricas en Europa en el año 1997. En general, estos procesos producen mercurio o calomel en el rango de 0.02 - 0.8 kg de mercurio por tonelada métrica de (otros) metales producidos, dependiendo del contenido de mercurio en los concentrados de entrada.

#### 5.2.4.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

501. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas, y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos. Asimismo, los factores por defecto reflejan criterios expertos basados únicamente en datos sintetizados y, hasta ahora, no se ha aplicado ningún enfoque cuantitativo sistemático (es decir, concentración ponderada por consumo y derivación de factores de distribución) en el desarrollo de los factores.

502. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

503. Debido a la falta de datos, no es posible definir factores por defecto para los procesos de minería y concentración. Cabe destacar que este hecho implica que los cálculos estimados de liberaciones de mercurio a partir de los factores por defecto tenderán a subestimar el total de liberaciones en el sector.

**a) Factores por defecto de entrada de mercurio**

504. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en la composición del concentrado del que se trate arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

505. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en el concentrado usado en la etapa de extracción, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-56 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto). Si se decide no calcular en forma de intervalos, el uso del valor máximo se recomienda a fin de detectar la posible importancia de la categoría de fuente para investigaciones ulteriores. La aplicación de un estimado máximo no implica automáticamente que las liberaciones reales tengan esa magnitud, sólo señalan la conveniencia de realizar más investigaciones.

Tabla 5-56 Factores *preliminares* de entrada por defecto para el mercurio en concentrados para la producción de cobre crudo

Material	Factores de entrada por defecto; g de mercurio por tonelada métrica del concentrado; (mínimo - máximo)
Concentrado de cobre	1 - 15

**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

506. Los factores por defecto para la distribución de salidas tal vez reflejen la situación registrada en los hornos de cobre que no disponen de los sistemas más modernos para abatir la contaminación atmosférica. Esto implica que las instalaciones con tecnología de punta en este tipo de sistemas causan menos liberaciones atmosféricas, lo que a su vez implica que mayores cantidades de mercurio acabarán en otros desechos, productos secundarios o liberaciones.

Tabla 5-57: Factores **preliminares** de distribución por defecto en las salidas de mercurio en la extracción de cobre a partir de concentrados

Etapa del ciclo de vida	Factores por defecto de distribución de salidas, porción de entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra *1	Productos secundarios *2	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector *1
Minería y concentración	?	?	?			X
Producción de cobre a partir del concentrado	0.1	0.02	0.24	0.4		0.24

Notas: \*1 El depósito de los residuos varía de un país a otro, y quizás incluso de una instalación a otra; puede hacerse en la tierra, en la mina, en diques municipales, muchas veces *in situ*. La distribución equitativa de las salidas restantes de mercurio en tierra, productos secundarios y tratamiento/disposición específicos por sector es artificial y sólo tiene por objetivo señalar la posibilidad de que cantidades significativas de mercurio sigan estas vías.

\*2: Entre los productos secundarios que podrían tener contenido de mercurio destacan los siguientes: calomel, mercurio elemental, lodos para la recuperación de mercurio fuera de la planta, ácidos de lavado de grado bajo, ácido sulfúrico, azufre líquido y sólidos depositados durante la filtración u otros residuos vendidos o transferidos a otras actividades de producción de metales u otros sectores.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

507. No se sugieren enlaces.

#### 5.2.4.6 Datos principales por fuente

508. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en las menas y los concentrados extraídos y procesados en la fuente;
- Cantidad de mena/concentrados extraídos y procesados, y
- Datos medidos sobre la distribución de las salidas de mercurio con (preferentemente todas) las corrientes de salida, sin olvidar los porcentajes de mercurio retenidos por equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).
- La presencia de una unidad para la remoción de mercurio en una planta de extracción puede indicar que gran parte de las emisiones de mercurio no se libera a la atmósfera, sino que se comercializa como producto secundario o se almacena *in situ*.

### 5.2.5 Extracción y procesamiento inicial de plomo

509. La minería industrial a gran escala y las operaciones de extracción de metal son menos numerosas en cualquier país donde se registren, sus materias primas y configuraciones de producción varían significativamente y pueden constituir importantes fuentes de liberación de mercurio. En vista de esos factores, se recomienda ampliamente usar un enfoque de fuente puntual en el inventario y, de ser posible, recopilar datos específicos por fuente puntual en las propias empresas dedicadas a esta actividad, así como otras entidades capaces de proporcionar datos específicos sobre las instalaciones de producción.

### 5.2.5.1 Descripción de la subcategoría

510. El plomo se extrae de una mena sulfurada, principalmente galena (sulfuro de plomo), que también contiene algo de mercurio (US EPA, 1997a). Los niveles de mercurio en las menas varían y en algunos casos pueden ser elevados en comparación con otras materias primas naturales (COWI, 2002).

511. Como se señaló en relación con el zinc (sección 5.2.3), las rocas de desecho y los relaves pueden contener cantidades traza de mercurio, al igual que los concentrados generados. Este material es mucho más susceptible de desgaste que los depósitos originales debido al menor tamaño de las partículas y a la mayor accesibilidad al aire y la precipitación. En el caso de las menas sulfuradas, importantes tipos de mena para la producción de diversos metales base, el desgaste libera y oxida el azufre contenido y produce ácido sulfúrico. El ácido hace al mercurio y otros componentes más solubles y, por ende, incrementa y multiplica potencialmente la lixiviación del metal al medio ambiente en comparación con el depósito mineral intocado. Este proceso se conoce como “drenaje ácido de roca” (o DAR) y se considera un grave riesgo ambiental (Comisión Europea, 2003).

512. En el proceso de extracción del plomo de la mena/concentrado se recurre a pasos para la liberación de mercurio del material rocoso. Este mercurio puede evaporarse y seguir las corrientes gaseosas propias de los procesos de extracción (en la mayoría de los casos) o seguir los flujos de procesos líquidos en función de la tecnología de extracción empleada. A menos que el mercurio se capture en etapas específicamente diseñadas para ello, grandes cantidades se liberarán a la atmósfera, la tierra y el agua. El mercurio retenido puede venderse como “calomel” ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ), por lo general comercializado para la extracción de mercurio metalizado en otras zonas o mercurio metalizado procesado *in situ*, o bien puede almacenarse o depositarse como residuos sólidos o lodosos (Environment Canada, 2002). Además de estas vías de liberación, parte de la entrada de mercurio (presumiblemente una fracción pequeña) sigue la coproducción de ácido sulfúrico en concentraciones traza (Comisión Europea, 2001).

513. En términos generales, los pasos principales para la extracción de plomo se parecen al proceso de extracción “pirometalúrgica” del zinc (sección 5.2.3) e incluyen la producción de concentrado rico en plomo a partir de la mena cruda, la tostación del concentrado y la fundición/reducción de los óxidos metálicos en un horno, ambos procesos a altas temperaturas. En algunas instalaciones de producción no se sinteriza el concentrado antes de introducirlo al horno. En esos casos, se espera que la mayor parte del mercurio presente en el concentrado se evapore y siga a las corrientes de gas del proceso subsiguiente. Al igual que con el zinc y el cobre, el mercurio presente en los gases de escape del proceso de sinterización y fundición puede retirarse mediante un paso específico dedicado a la remoción de mercurio antes de transportar los gases hasta la planta de recuperación de ácido sulfúrico (si existe; véase la descripción detallada del proceso en la sección 5.2.3). A veces se coproduce plomo con zinc u otros metales no ferrosos. Si se desea consultar una descripción exhaustiva de los procesos para la extracción del plomo, véase, por ejemplo, la publicación de la Comisión Europea (2001).

514. La chatarra de plomo reciclada puede añadirse a las materias primas para las etapas de sinterización o fundición, mas no se considera como una fuente importante de entradas de mercurio. A veces se produce cobre y zinc o cobre y níquel en líneas de proceso paralelas y semi-integradas en los mismos hornos de fundición (Environment Canada, 2002). El coque metalúrgico (o gas combustible) se usa en la etapa de reducción en el horno, pero no se espera que sea una fuente importante de entrada de mercurio dentro del proceso.



### 5.2.5.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-58 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de la extracción y el procesamiento inicial de plomo

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos *2	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Desechos de la minería y producción de concentrados	x	X	X			X
Extracción de plomo a partir del concentrado	X	X	X	X		X
Manufactura de plomo y productos refinados *1						
Uso del plomo						
Disposición del plomo						

Notas: \*1: En principio, las liberaciones de mercurio podrían ocurrir debido al uso de combustibles fósiles, pero no se espera que el metal de plomo sea una fuente de entradas de mercurio en las etapas de manufactura;

\*2: En el ácido sulfúrico, los productos derivados del mercurio y tal vez otros productos secundarios derivados del proceso;

X- Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x- Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

515. La concentración de mercurio en la mena y la cantidad de mena extraída son factores importantes que determinan las liberaciones de mercurio.

516. La extracción y el procesamiento iniciales de plomo (también denominados “fundición primaria de plomo”) puede causar liberaciones de mercurio al aire, el agua y la tierra, así como la acumulación de cantidades sustanciales de desechos minerales con contenido de mercurio, que a su vez provocarían más liberaciones. El alcance de estas liberaciones depende bastante del cuidado con el que se manejen los depósitos de desechos (COWI, 2002). La US EPA (1997a) describe que las reacciones a la sinterización ocurren a temperaturas muy altas (alrededor de 1000 °C); se espera que los dispositivos de control usados en la mayoría de las plantas (en Estados Unidos) tengan efectos mínimos en cuanto a la captura del mercurio. Por lo tanto, se espera que la mayor parte del mercurio que se encuentra en la mena se vaporice y sea emitido al aire durante el proceso de sinterización. En general, se espera que cualquier residuo de mercurio que quede en el tostador después del proceso de mercurio se libere durante el paso de reducción (US EPA, 1997a).

517. Es posible que las instalaciones para la extracción y el procesamiento cuenten con diversos dispositivos para la reducción de liberaciones, con cierto potencial para reducir las liberaciones directas de mercurio a la atmósfera y a los medios acuático y terrestre. Entre estas tecnologías destacan la retención de materia particulada y emisiones gaseosas a partir del gas de salida, y posiblemente el tratamiento de aguas residuales. La tecnología para la reducción de liberaciones suele producir otros residuos sólidos o líquidos. Algo de mercurio podría liberarse al ambiente (aire, agua, tierra) a través de ellos (COWI, 2002). El alcance y los tiempos en que se dan estas vías de liberación dependen de los enfoques y esfuerzos concretos dedicados al manejo de desechos.

### 5.2.5.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-59 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la extracción y el procesamiento inicial del plomo

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Desechos de la minería y producción de concentrados	Toneladas métricas de material de rechazo producido por año	g de mercurio/tonelada métrica de material de rechazo producido *1
Entrada a la extracción de plomo primario a partir del concentrado	Toneladas métricas de concentrado usado por año	g de mercurio/tonelada métrica de concentrado

Notas: \*1 Estos desechos pueden incluir material de menor grado (menores concentraciones de plomo) y las concentraciones de mercurio pueden ser similares a la concentración en el material mineralizado de entrada. Si no se dispone de datos sobre la concentración en materiales de rechazo, es posible aplicar datos de concentración en la mena para tener un cálculo aproximado.

518. En esta subcategoría, los dos factores de entrada más importantes para calcular las emisiones de determinada instalación son: un cálculo estimado de la concentración promedio del mercurio en el concentrado de la mena de plomo usado y la capacidad anual de la instalación (expresada en unidades, por ejemplo, toneladas métricas de concentrado de mena de plomo procesadas al año).

519. La concentración de mercurio en menas de plomo puede ser muy variable. La tabla 5-60 presenta los datos disponibles sobre las concentraciones de mercurio en concentrados de plomo.

Tabla 5-60 Ejemplos de concentraciones de mercurio en concentrados para la producción de plomo

País	Ubicación	Tipo	Concentración promedio de Hg, g de Hg/tonelada métrica	Rango de concentración de Hg en muestras, g/tonelada métrica	Fuente de datos
<b>En concentrados</b>					
Canadá	Fábrica Brunswick	Concentrado de plomo	2.7		Klimenko y Kiazimov, 1987
EE.UU.	Missouri	Concentrado de plomo	0.2		US EPA, 1997a
Federación Rusa	Desconocida	Concentrado de tipo plomo y zinc estratiforme		2 - 290	Bobrova <i>et al.</i> , 1990; Ozerova, 1986

#### 5.2.5.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

520. Klimenko y Kiazimov (1987) reportan concentraciones de mercurio de 0.69 g/tonelada métrica en material de rechazo a partir de la producción combinada de plomo, zinc, cobre y concentrados compuestos (la concentración de mercurio en la mena de entrada es de 2.1 g de Hg/tonelada métrica de mena), lo que indica que las concentraciones de mercurio en el material de rechazo podrían ser significativas.

521. La US EPA calcula que en el año 1994 los hornos de fundición de plomo en Estados Unidos emitieron 0.10 toneladas métricas de mercurio. Suponiendo que todo el mercurio que se encuentra en la mena sea liberado al aire, el estimado puede calcularse multiplicando la capacidad total (370,000 toneladas métricas) por la concentración promedio de mercurio en estos concentrados de mena (0.2 ppm). No obstante, la US EPA aplicó una ecuación un tanto más complicada (puede consultarse en el Apéndice A del informe de la US EPA, 1997a).

#### 5.2.5.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

522. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas, y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos

específicos por fuente. Se subraya que estos factores por defecto se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación.

523. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

524. Debido a la falta de datos, no es posible definir factores por defecto para los procesos de minería y concentración. Cabe destacar que este hecho implica que los cálculos estimados de liberaciones de mercurio a partir de los factores por defecto tenderán a subestimar el total de liberaciones en el sector.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

525. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en la composición del concentrado del que se trate arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

526. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en los concentrados usados en la etapa de extracción, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-61 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto). Si se decide no calcular en forma de intervalos, el uso del valor máximo se recomienda a fin de detectar la posible importancia de la categoría de fuente para investigaciones ulteriores. La aplicación de un estimado máximo no implica automáticamente que las liberaciones reales tengan esa magnitud, sólo señalan la conveniencia de realizar más investigaciones.

Tabla 5-61 Factores preliminares de entrada por defecto para el mercurio en concentrados de plomo usados para la extracción de plomo

Materia prima	Factores de entrada por defecto; g de mercurio por tonelada métrica de concentrado; (mínimo - máximo)
Concentrado de plomo	2 – 200

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

527. Ya que no se dispone de datos cuantitativos sobre la distribución de salidas de mercurio a partir de la extracción y el procesamiento inicial de plomo, los factores por defecto se consideran, de manera preliminar, iguales a los factores por defecto para la distribución de salidas de mercurio en el caso del zinc (con el que a veces se coproduce plomo).

Tabla 5-62: Factores **preliminares** de distribución por defecto en las salidas de mercurio en la extracción de plomo a partir de concentrados

Etapa del ciclo de vida	Factores por defecto de distribución de salidas, porción de entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra *1	Productos secundarios *1, *2	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector *1
Minería y concentración	?	?	?	?		
Producción de plomo a partir del concentrado	0.1	?	0.3	0.3		0.3

Notas: \*1 El depósito de los residuos varía de un país a otro, y quizás incluso de una instalación a otra; puede hacerse en la tierra, en la mina, en diques municipales, muchas veces *in situ*. La distribución equitativa de las salidas restantes de mercurio en tierra, productos secundarios y tratamiento/disposición específicos por sector es artificial, pues no se encontraron datos correlativos que indicaran sus relaciones reales, y sólo tiene por objetivo señalar la posibilidad de que cantidades significativas de mercurio sigan estas vías; \*2 Entre los productos secundarios que podrían tener contenido de mercurio destacan los siguientes: calomel, mercurio elemental, lodos para la recuperación de mercurio fuera de la planta, ácidos de lavado de grado bajo, ácido sulfúrico, azufre líquido y sólidos depositados durante la filtración u otros residuos vendidos o transferidos a otras actividades de producción de metales u otros sectores.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

528. No se sugieren enlaces.

#### 5.2.5.6 Datos principales por fuente

529. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en las menas y los concentrados extraídos y procesados en la fuente;
- Cantidad de mena/concentrados extraídos y procesados, y
- Datos medidos sobre la distribución de las salidas de mercurio con (preferentemente todas) las corrientes de salida, sin olvidar los porcentajes de mercurio retenidos por equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

530. La presencia de una unidad para la remoción de mercurio en una planta de extracción puede indicar que gran parte de las emisiones de mercurio no se libera a la atmósfera, sino que se comercializa como producto secundario o se almacena *in situ*.

### 5.2.6 Extracción y procesamiento inicial de oro mediante procesos distintos de la amalgamación de mercurio

531. Al igual que en el caso de la extracción de otros metales no ferrosos, las descripciones cuantitativas de los balances de masa en operaciones de extracción de oro (los correspondientes estimados de las entradas y la distribución de salidas) parecen ser difíciles de obtener. Por lo tanto, los aspectos cuantitativos de la descripción en esta sección representan una especie de rompecabezas de fragmentos tomados de diversas fuentes. La minería industrial a gran escala y las operaciones de extracción de metal son menos numerosas en cualquier país donde se registren, sus materias primas y configuraciones de producción varían significativamente y pueden constituir importantes fuentes de liberación de mercurio. En vista de esos factores, se recomienda ampliamente usar un enfoque de fuente puntual en el inventario y, de ser posible, recopilar datos específicos por fuente puntual en las

propias empresas dedicadas a esta actividad, así como otras entidades capaces de proporcionar datos específicos sobre las instalaciones de producción.

### 5.2.6.1 Descripción de la subcategoría

532. Las menas para la extracción de oro (por lo general menas sulfuradas) pueden contener cantidades traza de mercurio; en algunos casos esas cantidades pueden ser elevadas en comparación con otras materias primas naturales. A veces el contenido de mercurio en la mena de oro ha sido lo suficientemente alto para motivar su recuperación a partir de los residuos sólidos resultantes de la extracción de oro con propósitos comerciales. Dicha recuperación y comercialización de mercurio derivado de la extracción de oro explica parte de la oferta actual de mercurio en el mercado internacional. Esa recuperación también podría estar motivada, en parte, por el deseo de reducir las liberaciones del mismo mercurio a partir de la producción de oro y porque ese mercurio puede servir como sustituto de la minería primaria del metal (COWI, 2002).

533. Los procesos para la extracción de oro pueden ser fuentes significativas de liberaciones de mercurio, aun cuando no se registre un uso deliberado de este metal (amalgamación). La extracción de oro constituye una de las fuentes de liberaciones de mercurio más importantes entre las actividades mineras de los países árticos (Maag, 2004). Tanto las liberaciones a la tierra como las liberaciones atmosféricas pueden ser relevantes.

534. No se encontraron descripciones de la forma exacta en la que operan las liberaciones de mercurio a partir de la extracción y procesamiento primario de oro en la literatura disponible, pero se sabe que el procedimiento para la extracción implica varios pasos a temperaturas lo suficientemente altas para liberar emisiones térmicas de mercurio, así como pasos en los que se producen importantes cantidades de residuos sólidos o líquidos con posible contenido de mercurio, residuos que podrían desecharse.

535. Cabe destacar que en algunos países el oro se produce mediante el reproceso de viejos relaves mineros, en los que ya hubo un proceso de amalgamación previa, con el moderno proceso de cianuro que resulta más efectivo (Lassen *et al.*, 2004). Esto puede causar importantes liberaciones de mercurio a menos que éste sea retenido mediante métodos efectivos de control de la contaminación. No se sabe cuánto se ha extendido esta forma de producción de oro en el mundo.

### Procesos

536. Los procesos de extracción combinan operaciones generales fisicoquímicas (tal como se describió detalladamente en el apartado dedicado al zinc) y procesos químicos específicos diseñados para separar el oro del resto de los constituyentes de la mena o concentrado. Según Renner (2000), en términos generales los procesos implican la concentración de gravedad y/o la flotación. Ocasionalmente se recurre a la tostación de concentrados (véase la descripción del proceso de tostación en la sección 5.2.3). El paso principal es la lixiviación del concentrado con cianuro de sodio en un lodo acuoso alcalino. El cianuro disuelve el oro del material rocoso. Los pasos subsiguientes siguen una de las siguientes líneas: 1) Los residuos sólidos se filtran y la solución resultante se trata con cascarillas de zinc para precipitar el oro que después se trata con ácido sulfúrico y se seca, posteriormente se tuesta a 800 °C para oxidar plomo, zinc y hierro. Se añade fundente de bórax y el material se derrite para producir oro crudo con contenido de oro de 80-90%. 2) Se añade carbono al lodo concentrado de cianuro en un proceso de múltiples pasos, el oro se absorbe en el carbono (proceso “carbono en pulpa”) y después el carbono que contiene oro se separa del barro acuoso. El oro es nuevamente eluido del carbono con una solución de cianuro cáustico, del que el oro se separa posteriormente por electrólisis (“recuperación electrolítica”, véase la sección 5.2.4). El carbono se lava con ácido, se reactiva a altas temperaturas dentro de un horno y se recicla nuevamente al interior del proceso. Aun cuando la cianurización constituye el proceso principal, una corriente adicional de oro grueso o sulfídico encontrado en la mena puede llegar a tratarse con amalgamación de mercurio (Renner, 2000).

### 5.2.6.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-63 Principales liberaciones y medios receptores durante la extracción y el procesamiento inicial del oro con métodos distintos de la amalgamación de mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/d isposición específicos por sector
Desechos de la minería y producción de concentrados	x	X	X		x	X
Extracción de oro a partir del concentrado	X	X	X	X	x	X
Manufactura de oro y productos refinados						
Uso del oro						
Disposición del oro						

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

537. El mercurio y los compuestos de mercurio pueden procesarse como constituyente traza o recuperado como producto secundario de las menas de oro. En muchas minas se extraen, trasladan, almacenan y desechan grandes cantidades de roca de desecho y materiales mineralizados que suelen contener concentraciones bajas de mercurio originadas en el material de la mena. La inmensa mayoría de este material se coloca en depósitos municipales o en la tierra, y a veces se reportan los metales como liberaciones a la tierra *in situ*. Este material, previamente enterrado, se expone a la posible lixiviación por lluvia, nieve y drenaje ácido de mina, y debe manejarse y monitorearse cuidadosamente a fin de evitar la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas. Asimismo, las preparaciones del procesamiento y la refinación de la mena pueden causar liberaciones atmosféricas de mercurio.

538. La extracción y el procesamiento inicial de oro puede producir liberaciones de mercurio a la atmósfera, al agua y a la tierra, así como la acumulación de cantidades sustanciales de desechos minerales con contenido de mercurio, que a su vez podrían causar liberaciones adicionales. El alcance de las liberaciones depende bastante del cuidado con el que se manejen los depósitos de desechos.

539. No se encontró información sobre el uso de sistemas de control en las actividades de extracción de oro capaces de reducir las liberaciones de mercurio al ambiente. No obstante, las instalaciones para la extracción y el procesamiento de metales no ferrosos podrían contar con diversos dispositivos para la reducción de emisiones y ser capaces de disminuir las liberaciones atmosféricas directas de contaminantes, así como las liberaciones al agua y la tierra. Entre estas tecnologías destacan la retención de materia particulada y emisiones gaseosas a partir del gas de salida, y posiblemente el tratamiento de aguas residuales. La tecnología para la reducción de liberaciones suele producir otros residuos sólidos o líquidos que también pueden causar liberaciones. (COWI, 2002). El alcance de estas vías de liberación depende de la idoneidad con que se manejen los desechos.

### 5.2.6.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-64 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la extracción a gran escala y el procesamiento inicial de oro (con métodos distintos de la amalgamación de mercurio)

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Extracción y procesamiento	Cantidad de material/mena procesada por año o cantidad de oro producido	Concentración de Hg en material/mena procesada o cantidad de mercurio liberado por tonelada métrica de oro producido

### 5.2.6.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

540. Con base en los datos reportados por 25 minas de oro en la parte occidental de Estados Unidos, se emitió un total de 5474 kg al aire, 0.4 kg al agua, 1,886,921 kg a la tierra *in situ* y 594 kg fueron liberados fuera de las instalaciones (US EPA, 2003a). La siguiente tabla muestra las 10 minas de oro en ese país que reportaron las cifras más elevadas de liberaciones.

541. De acuerdo con Jasinski (1994), se produjeron 114 toneladas métricas de mercurio como productos secundarios (“recuperados”) a partir de las operaciones de minería de oro en 1990.

Tabla 5-65 Liberaciones (en kg) provenientes de las 10 minas de mayor emisión en EE.UU. (US EPA, 2003a)

Instalación número	Total de emisiones atmosféricas	Descargas a aguas superficiales	Liberaciones a la tierra	Total de liberaciones <i>in situ</i> *1	Total liberaciones fuera de las instalaciones *1	Total de liberaciones <i>in situ</i> y fuera de las instalaciones *1
1	602	ND	896694	1,974,050	5	897300
2	274	0.4	368182	810,604	0	368456
3	228	0	340909	750,501	49	341185
4	15	0	136364	300,034	0	136379
5	2	0	39545	87,005	0	39548
6	683	ND	35,000	78,503	0	35683
7	3632	ND	28091	69,791	0	31723
8	0.4	ND	14725	32,396	ND	14725
9	0.4	ND	12273	12274	545	12819
10	0.4	ND	5455	5455	ND	5455
Total de las 10 minas		ND				

Notas: ND = no se identificaron datos.

\*1 No hay claridad acerca de la razón detrás de la inconsistencia entre las cifras reportadas para el “total de liberaciones *in situ*”, el “total de liberaciones fuera de las instalaciones” y el “total de liberaciones *in situ* y fuera de las instalaciones”.

542. La información contenida en el *Inventario 1998 de liberaciones tóxicas*, presentado por empresas mineras en Estados Unidos, reveló que estas minas son fuentes significativas de emisiones

atmosféricas de mercurio (US EPA, 2003a). Sin embargo, como lo muestra la tabla anterior, la inmensa mayoría (> 99%) del total de las liberaciones reportadas ocurrieron *in situ* y a la tierra. Hay escasos datos TRI sobre liberaciones al agua. En el caso de las minas que sí reportan liberaciones al agua, éstas parecen representar una ínfima fracción del total de las liberaciones. Las emisiones atmosféricas reportadas probablemente sean liberaciones directas a partir de la producción. En principio, podrían ocurrir liberaciones difusas adicionales a partir del material que constituye las liberaciones a la tierra. No obstante, no se dispone de información acerca de la forma, la movilidad ni las concentraciones de mercurio en dichas liberaciones (por ejemplo, podría haber grandes cantidades de roca de desecho y residuos de lodos de la extracción con concentraciones bajas de mercurio).

543. La tabla 5-66 muestra el reporte de las minas de oro en Estados Unidos respecto a la producción de oro en el período 1999-2003 (“alrededor de dos docenas de minas”) (USGS, 2004).

*Tabla 5-66 Producción reportada de oro proveniente de minas en EE.UU. en 1999 - 2003; toneladas métricas/año (USGS, 2004)*

	1999	2000	2001	2002	2003 *1
Producción minera, toneladas métricas de oro	341	353	335	298	266

Notas: \*1 2003 calculado por USGS.

544. Suponiendo que el total de las liberaciones de mercurio reportadas por la US EPA (2003) con datos provenientes de 25 minas de oro en Estados Unidos se originaran de las mismas “alrededor de dos docenas de minas” para las cuales la USGS (2004) reportó la producción de oro, es posible llegar a cálculos aproximados sobre el promedio de liberaciones de mercurio por tonelada métrica de oro producido. Los datos de liberaciones de la US EPA probablemente describan la situación entre 1999-2001, cuando la producción anual de oro reportada por las minas fue de 343 toneladas métricas promedio. Así, la tabla 5-67 presenta cálculos aproximados de liberaciones promedio de mercurio por tonelada métrica de oro producido.

*Tabla 5-67 Cálculos aproximados de las liberaciones de mercurio promedio reportadas por tonelada métrica de producción de oro en EE.UU.; kg de Hg/toneladas métricas de oro producido*

	Liberaciones al aire	Liberaciones a la tierra
Liberaciones reportadas en kg de mercurio por tonelada de oro producido *1	20	6000

Notas: \*1 Cifras redondeadas a fin de reflejar la incertidumbre asociada.

#### **5.2.6.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas**

545. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas, y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que estos factores por defecto se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación.

546. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

#### **a) Factores por defecto de entrada de mercurio**

547. Debido a la falta de datos, no es posible definir un factor general de entrada por defecto.



**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

548. No es posible definir factores correlativos por defecto para la distribución de salidas (como lo recomienda generalmente el presente instrumental) en esta categoría de fuente.

549. En el caso de las liberaciones al aire y la tierra (provenientes de la extracción y el procesamiento inicial tomados como un todo), se ha elegido una serie de factores tradicionales de liberaciones a fin de permitir el cálculo por defecto de liberaciones de mercurio a estos medios.

Tabla 5-68 Factores *preliminares* de distribución por defecto sugeridos para la extracción a gran escala y el procesamiento inicial de oro (con métodos distintos de la amalgamación de mercurio) \*1

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Kg de Hg liberado por tonelada métrica de oro producido	20	?	6000	?		?

Notas: \*1 Únicamente con base en datos nacionales de Estados Unidos; puede asociarse a incertidumbres sustanciales.

**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

550. No se sugieren enlaces.

**5.2.6.6 Datos principales por fuente**

551. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en las menas extraídas y procesadas en la fuente;
- Cantidad de mena extraída y procesada, y
- Datos medidos sobre la distribución de las salidas de mercurio con (preferentemente todas) las corrientes de salida, sin olvidar los porcentajes de mercurio retenidos por equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

**5.2.7 Extracción y procesamiento inicial de aluminio**

552. La mena de aluminio, comúnmente bauxita, se refina para formar trihidrato de óxido de aluminio (alúmina) y después se reduce electrolíticamente para formar aluminio metálico. El proceso emplea mena, combustibles fósiles y materiales auxiliares a base de hidrocarburos, y todos ellos pueden contener concentraciones traza de mercurio que podrían liberarse al ambiente. La producción de aluminio califica como una de las principales fuentes de liberación atmosférica de mercurio en Australia, un país muy activo en este sector (aportación de Australia a la Evaluación Mundial del Mercurio - PNUMA, 2002; y NPI, 2004).

**Producción de alúmina a partir de bauxita**

553. La producción internacional de alúmina está dominada por unos cuantos países con abundantes depósitos de bauxita. Por ejemplo, la producción de alúmina a partir de bauxita constituye una de las principales fuentes de liberación de mercurio en Australia (uno de los grandes productores de alúmina y aluminio). Cuatro instalaciones reportan liberaciones atmosféricas en el rango de 220-430 kg de mercurio cada una, y liberaciones marginales o nulas a la tierra y el agua (NPI, 2004).

554. La siguiente descripción se basa en uno de los documentos de orientación para el cálculo de emisiones en la producción de alúmina elaborados en Australia (NPI, 1999a): el procesamiento de la bauxita incluye molienda, digestión, secado y calcinación. Estos procesos causan emisiones atmosféricas y la formación de material de desecho. Durante el proceso de digestión, la bauxita, finamente molida, se enloda con una solución de hidróxido de sodio y cal, y se provoca su reacción a la alta presión y la alta temperatura a fin de remover los óxidos de hierro y de silicón. Se forma aluminato de sodio, así como óxidos de silicón, hierro, titanio y calcio a partir de los componentes insolubles del desecho sólido residual. Durante el proceso de digestión, se ventilan los componentes orgánicos volátiles de la mena y son emitidos al aire como fugitivos. Durante el secado y la calcinación, la alúmina gruesa se calcina en hornos rotatorios o calcinadores de lecho húmedo a una temperatura aproximada de 1000°C. Los calcinadores producen gases de salida calientes que contienen alúmina y vapor de agua. Se usan dos tipos de horno para la refinación: a base de oxalato y a base de licor. Los equipos de control tradicionales incluyen separadores ciclónicos y PES. Estos equipos también pueden usarse para recuperar producto y minimizar las emisiones. Cabe notar que las emisiones asociadas a esta actividad dependen del combustible que se use.

### Producción de aluminio a partir de alúmina

555. Es común que las instalaciones dedicadas a la producción de aluminio estén situadas en lugares donde el suministro de energía eléctrica no es costoso (por ejemplo, a partir de energía hidráulica), y la alúmina se comercia en todo el mundo como materia prima. Sin embargo, algunas veces las instalaciones se encuentran cerca de las fuentes de alúmina.

#### 5.2.7.1 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-69 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de la extracción y el procesamiento inicial del aluminio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector
Extracción y procesamiento	X		x		X

Notas: X- Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x- Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### Producción de alúmina a partir de bauxita

556. Uno de los documentos de orientación para el cálculo de emisiones en la producción de alúmina, elaborado en Australia (NPI, 1999a), no indica claramente qué materias primas son la principal fuente de entrada de mercurio al proceso; sin embargo, sí indica (al proporcionar factores de emisión para los diversos tipos de petróleos pesados y gases usados) que los combustibles empleados en la producción de calor para el proceso constituyen importantes fuentes de entrada. Asimismo, NPI (2004) aporta datos generales de concentración de mercurio en bauxita (<0.03 g/tonelada métrica) y “lodo rojo” (<0.05 g/tonelada métrica), el residuo sólido que se forma tras la producción de alúmina.

### Producción de aluminio a partir de alúmina

557. Otro de los documentos de orientación para el cálculo de emisiones en la producción de alúmina, elaborado en Australia (NPI, 1999b), se menciona al mercurio como salida tanto del proceso para el horneado de ánodos como la reducción electrolítica de alúmina, pero no se presentan factores de emisión de mercurio. Durante el proceso de reducción los ánodos se consumen y el aluminio se produce a temperaturas alrededor de los 970 °C. El carbón residual de petróleo con material de ánodos, subproducto de la refinación de petróleo, y la brea, subproducto del proceso de coquización del carbón hasta convertirlo en coque metalúrgico, producido por la destilación del alquitrán, podrían contener

mercurio a partir de su presencia natural en el petróleo y el carbón usados. A esa temperatura, se espera que el mercurio restante en el ánodo o alúmina, de haberlo, se libere en forma térmica.

558. En el contexto del presente instrumental, las liberaciones de mercurio originadas en los combustibles fósiles caerán generalmente en las subcategorías incluidas en la sección 5.1 (extracción y uso de combustibles/fuentes de energía), pero no es posible establecer una distinción clara con base en las fuentes de entrada de mercurio con estas indicaciones limitadas.

### **5.2.7.2 Factores de entrada y factores de distribución de salidas**

559. Hasta ahora no se ha intentado desarrollar factores por defecto de entradas y salidas para esta subcategoría.

560. Si no se dispone de datos específicos sobre las entradas de mercurio presentes en la mena y otras materias primas usadas, puede hacerse un cálculo aproximado de las entradas provenientes de la bauxita multiplicando las cantidades de bauxita usadas cada año por la conservadora cifra de concentración de mercurio de 0.03 g/kg (30 g/tonelada métrica) en bauxita usada. Puede calcularse la entrada de mercurio por los combustibles fósiles multiplicando las cantidades de combustible de cada tipo usado por los factores de entrada por defecto citados en la sección 5.1 para cada tipo de combustible. Todas las entradas de mercurio pueden, como estimado inicial, considerarse como liberadas a la atmósfera.

561. No se dispone de datos para desarrollar factores por defecto para la producción de aluminio a partir de la alúmina, pero este proceso podría constituir una fuente de liberación de mercurio.

562. Puede elegirse incluir las entidades de energía a base de quema de combustibles fósiles y combustión de calor situadas en las instalaciones en este sector dentro de los procesos de combustión descritos en la sección 5.1; tome las previsiones necesarias para evitar la duplicación contable.

### **5.2.7.3 Datos principales por fuente**

563. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Cantidades de combustibles fósiles/materiales de hidrocarburo usados, y sus correspondientes concentraciones de mercurio;
- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en las menas extraídas y procesadas en la fuente;
- Cantidad de mena extraída y procesada, y
- Datos medidos sobre los equipos para la reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

## **5.2.8 Extracción y procesamiento de otros metales no ferrosos**

### **5.2.8.1 Descripción de la subcategoría**

564. Esta subcategoría incluye la extracción y el procesamiento de otros metales no ferrosos que pueden ser fuente de liberaciones de mercurio, como la plata, el níquel, el cobalto, el estaño, el antimonio, el molibdeno y el tungsteno, entre otros.

565. A excepción de lo que se menciona a continuación, no se recogieron datos específicos sobre estas posibles fuentes de liberaciones de mercurio. Los procesos de extracción implicados probablemente se asemejen a los procesos correspondientes a otros metales no ferrosos, descritos en el presente instrumental.

### 5.2.8.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-70 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de la extracción y el procesamiento de otros metales no ferrosos

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Extracción y procesamiento	X	X	X		X	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x -Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.2.8.3 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

566. Con base en el TRI de la US EPA, hay una mina de plata en Nevada que reportó liberaciones atmosféricas de 6.4 kg de mercurio y 15,911 kg de liberaciones a la tierra en el año 2001. Las liberaciones a otros medios (por ejemplo, agua) podrían ser bastante bajas, ya que esta instalación minera no reportó ninguna (US EPA, 2003a).

567. No se trabajó en la recopilación de información adicional sobre las liberaciones de mercurio en esta subcategoría. Se espera la disponibilidad de algunos datos relativos a las liberaciones de mercurio a partir de la producción de algunos de estos metales.

### 5.2.8.4 Datos principales por fuente

568. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en las menas extraídas y procesadas en la fuente;
- Cantidad de mena extraída y procesada;
- Cantidades de combustibles y materiales auxiliares usados, y sus correspondientes concentraciones de mercurio, y
- Datos medidos sobre la distribución de las salidas de mercurio con (preferentemente todas) las corrientes de salida, sin olvidar los porcentajes de mercurio retenidos por equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

## 5.2.9 Producción primaria de metales ferrosos

### 5.2.9.1 Descripción de la subcategoría

569. La industria del hierro y el acero es altamente intensiva en materiales y energía. Grandes cantidades de las entradas se convierten en salidas en forma de vapores de gas y residuos. Esta industria comprende establecimientos principalmente dedicados a la fundición de menas de hierro para producir arrabio líquido o sólido, y a la conversión de arrabio en acero mediante la remoción del carbón mediante combustión en hornos. Es posible que estas instalaciones se limiten al vaciado de lingotes o que también produzcan hierro y acero en formas básicas: placas, láminas, tiras, varillas y barras, y otros productos manufacturados.

570. Las plantas de sinterización están asociadas a la manufactura de hierro, por lo general en fábricas integradas de hierro y acero. El proceso de sinterización es un paso de tratamiento previo en la producción de hierro, en el que se aglomeran partículas finas de menas de metal mediante combustión. La aglomeración es necesaria para incrementar el paso de los gases durante la operación del alto horno. Por lo general, las instalaciones de sinterización son grandes sistemas de rejillas (de hasta varios cientos de metros cuadrados) que sirven para preparar la mena de hierro (a veces en forma de polvo) para su uso en el alto horno. Además de la mena de hierro, usualmente hay una fuente de

carbón (casi siempre coque) y otros aditivos, como cal. En algunos casos hay desechos de diversas partes del proceso de manufactura del acero. En el proceso de sinterización, los quemadores por encima de la banda de rejillas calientan el material hasta alcanzar la temperatura necesaria (1,100-1,200 °C), causando la inflamación del combustible presente en la mezcla. El frente de la flama atraviesa el lecho de sinterización conforme avance a lo largo de la rejilla causando la aglomeración. El proceso termina una vez que el frente de la flama ha atravesado la totalidad de la capa de la mezcla y el combustible se ha consumido. El sinter, enfriado, se transporta a pantallas separadoras de las piezas que serán usadas en el alto horno (4-10 mm y 20-50 mm) y las piezas que volverán al proceso de sinterización (0-5 mm como “partículas finas de retorno”, 10-20 mm como “recubrimiento de fogón”) (PNUMA, 2003).

571. Podría haber emisiones de mercurio en diversos puntos de las instalaciones integradas de hierro y acero, incluidas las plantas de sinterización que convierten materias primas en productos aglomerados (sinter) para servir como combustible de alto horno, los altos hornos que producen hierro y los talleres con hornos de proceso básico de oxígeno (PBO) donde se produce acero. En pro de la conveniencia y ante la falta de datos detallados, la sinterización y los altos hornos se consideran como uno solo proceso cuyo resultado es el arrabio. El proceso básico de oxígeno no se considera como una fuente significativa de mercurio y no se vuelve a abordar en el presente instrumental.

### 5.2.9.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-71 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la producción primaria de metales ferrosos

Etapa del proceso	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Sinterización y alto horno	X				x

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

572. Las concentraciones de mercurio en las diferentes materias primas, particularmente la mena/el concentrado y la cal, son el principal factor que determina las liberaciones de mercurio en este sector.

### 5.2.9.3 Discusión de las entradas de mercurio

573. La concentración de mercurio en la mena/los concentrados de hierro, así como la cantidad de mena/concentrados usados constituyen importantes factores para determinar las liberaciones de mercurio. Debido a la concentración de la mena parte del mercurio termina en relaves depositados en rellenos sanitarios.

574. El contenido de mercurio en mena y concentrados de hierro es muy variable.

575. El contenido de mercurio en concentrados provenientes de los depósitos de la Anomalía Magnética de Kursk, la principal fuente de mena de hierro en la Federación Rusa, registra un rango de 0.01-0.1 mg/kg; por su parte, los concentrados de los depósitos en Korshunovsk, Siberia, contienen 0.02-0.085 mg/kg (Lassen *et al.*, 2004). Para la evaluación de liberaciones de mercurio a partir de la producción de arrabio en la Federación Rusa se asumió un contenido promedio de mercurio en concentrados de 0.06 mg/kg (Lassen *et al.*, 2004).

576. La concentración de mercurio en mena de taconita no beneficiada y recién triturada, la mena de hierro más extraída en Estados Unidos, proveniente de diferentes operaciones de minería en Minnesota, se encontró en el rango de valor de 0.0006 hasta un máximo de 0.032 mg/kg (valores promedio para cada operación) (Berndt, 2003). La concentración de mercurio en el concentrado estuvo en el rango de 0.001 a 0.016 mg/kg, mientras que los relaves registraron un rango de 0.001 a 0.040

mg/kg (Berndt, 2003). Si se compara con los datos de la Federación Rusa, el contenido de mercurio en el concentrado de taconita es aproximadamente diez veces menor.

577. La evaluación de todas las materias primas para la producción de arrabio en la Federación Rusa reveló que 20% del mercurio se origina en la piedra caliza (contenido promedio de 0.05 mg Hg/kg), 75% proviene del concentrado (contenido promedio de 0.06 mg Hg/kg) y el 5% restante de otras materias primas. El factor de emisión resultante se calculó en 0.04 g por tonelada métrica de arrabio producido, suponiendo que 99% del mercurio se libera al aire. El factor de emisión es idéntico al que emplean Pacyna y Pacyna (2000) para los estimados de la emisión de mercurio a partir de la producción de arrabio en la Federación Rusa (Pacyna y Pacyna, 2000).

578. La guía de emisiones publicada por EMEP/CORINAIR usa un factor de emisiones por defecto para el proceso “Plantas de sinterización y granulación” de 0.05 g por tonelada métrica de sínter (EMEP/CORINAIR, 2001).

*Tabla 5-72 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la producción primaria de metales ferrosos*

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Datos necesarios de la tasa de actividad</b>	<b>Factor de entrada de mercurio</b>
Sinterización y alto horno	Toneladas métricas de arrabio producido	g de mercurio liberado/tonelada métrica de arrabio producido

#### 5.2.9.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

579. El total de las liberaciones atmosféricas de mercurio en Minnesota a partir de la minería y sinterización de menas de hierro fue de 342 kg en el año 2000 (Berndt, 2003). Como se dijo antes, las concentraciones de mercurio en el concentrado usado para la producción de hierro en Minnesota (EE.UU.) estuvieron en un rango de 0.001 a 0.016 mg/kg. Se correlacionaron las emisiones atmosféricas de mercurio a partir de estas operaciones con la concentración de mercurio en los concentrados, y las liberaciones correspondientes estuvieron en el rango de un valor de 1.8 kg por millón de toneladas métricas de gránulos producidos en el borde oriental de la zona minera hasta alrededor de 17 kg por millón de toneladas métricas en el borde occidental. (Berndt, 2003).

580. De acuerdo con Berndt (2003) hay una tendencia a suponer que el mercurio emitido a través de las chimeneas se encuentra en su estado elemental. Aunque este dato no ha sido verificado en todas las instalaciones, un estudio realizado en una de las plantas de Minnesota indica que un promedio de 93.3% de emisiones de mercurio se dieron en forma Hg(0) y la mayor parte del resto se emitió como mercurio oxidado, Hg(II) (HTC, 2000). 70-80% del mercurio oxidado era recogido por el depurador húmedo, cantidad correspondiente a aproximadamente 5% del total.

581. Berndt (2003) cita estudios (Benner, 2001) que demuestran la posibilidad de lograr cierto control de emisiones al modificar la práctica actual de reciclaje de polvo proveniente de los depuradores húmedos hacia los hornos endurecedores que se sigue en Minnesota. Según los hallazgos de Benner (2001), este polvo contiene concentraciones extremadamente altas de mercurio y si se canalizara este material (particularmente la porción más fina) hacia la corriente de desechos en lugar de reciclarlo al horno podrían disminuirse las emisiones de mercurio. La reducción de emisiones reportada gracias a esta medida se encuentra en el rango de 10-20%.

582. La evaluación de las liberaciones de mercurio a partir de la producción de arrabio en la Federación Rusa supone que 99% del contenido de mercurio en las materias primas se sublima y posiblemente se libera al aire durante las operaciones.

### 5.2.9.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

583. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas, y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que estos factores por defecto se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación.

584. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

585. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en las materias primas usadas arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

586. En el caso de esta subcategoría se aplica un enfoque simplificado, es decir, la suma del total de las entradas de mercurio con todas las materias primas (con base en los dos ejemplos ya descritos).

587. El factor de entrada por defecto para la producción de arrabio (sinterización y alto horno): 0.05 g de Hg/tonelada métrica de arrabio producido.

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

Tabla 5-73 Factores *preliminares* de distribución por defecto en las salidas de mercurio a partir de la producción primaria de metales ferrosos

Etapa del ciclo de vida	Factores de distribución, porción de las entradas de Hg				
	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción de arrabio	0.95				0.05

Notas: No se ha investigado detalladamente el destino del mercurio en los residuos filtrados; éste puede variar de un país a otro y, en principio, podría incluir la disposición controlada o informal, o la reutilización en otros procesos.

#### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

588. No se sugieren enlaces.

## 5.3 Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio

Tabla 5-74 Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio: subcategorías con vías principales de liberaciones de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos /residuos	Principal enfoque de inventario
5.3.1	Producción de cemento	X		x	x	x	FP
5.3.2	Producción de pulpa y papel	X	x	x		x	FP
5.3.3	Producción de cal y hornos de agregados ligeros	X			x		FP
5.3.4	Otros minerales y materiales						FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

589. Además de las subcategorías mencionadas en la tabla 5-74, la producción y el uso de otros minerales y materiales de gran volumen, por ejemplo fertilizantes minerales, pueden constituir fuentes potenciales de liberaciones de mercurio. Sin embargo, el presente instrumental no describe detalladamente esas otras fuentes.

### 5.3.1 Producción de cemento

#### 5.3.1.1 Descripción de la subcategoría

590. Las materias primas usadas para la producción de cemento contienen concentraciones traza de mercurio. El origen de este metal es el mercurio naturalmente presente en las materias primas vírgenes empleadas en el proceso (cal, carbón, petróleo, etc.), el contenido de mercurio de los residuos sólidos provenientes de otros sectores (por ejemplo, las cenizas volantes y el yeso a partir de la combustión de carbón) que puede ser elevado en comparación con el contenido registrado en materiales vírgenes, y en desechos ocasionalmente usados como combustible en la manufactura de cemento. El uso de desechos como materia prima puede incrementar significativamente la entrada total de mercurio a la producción de cemento. La principal vía de salida del mercurio presente en las materias primas son las liberaciones atmosférica, además de los niveles traza de mercurio en el cemento producido. Esta subcategoría representa una fuente potencial de liberaciones de mercurio que implica materiales con concentraciones muy bajas de mercurio, pero que se trabajan en grandes cantidades.

#### Procesos

591. Las principales materias primas (yeso y piedra caliza) se adquieren a través de actividades en cantera. Las materias primas se llevan a las instalaciones, se mezclan, trituran y muelen para producir el material crudo de alimentación con el tamaño de partículas y las propiedades químicas adecuadas. Hay cuatro grandes tipos de proceso para fabricar cemento: seco, semisecho, semihúmedo y húmedo (PNUMA, 2003). En el proceso seco, las materias primas se muelen y secan hasta formar el material crudo que alimenta el horno precalentador o precalcinador (menos común es colocarlo en un horno largo seco). El proceso seco requiere de aproximadamente 40% menos energía que el proceso húmedo. En el proceso húmedo, las materias primas se muelen en agua para formar un lodo aguado bombeable, el cual alimenta directamente el horno o pasa primero por un secador de lodo (PNUMA, 2003).

592. El piropcesamiento (tratamiento térmico) de la materia prima se lleva a cabo en el horno, parte central del proceso de fabricación del cemento de Pórtland (US EPA, 1997a). El piropceso consta de dos o tres etapas: 1) secado o precalentamiento (en los sistemas/tipos de procesamiento que



incluyen esta etapa); 2) calcinación (proceso de calentamiento para formar óxido de calcio), y 3) combustión (sinterización).

593. Después de la etapa de secado o precalentamiento, de haberla, empieza propiamente la fabricación de cemento con la etapa de calcinación, es decir, la descomposición de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) a aproximadamente  $900\text{ }^\circ\text{C}$  para dejar óxido de calcio ( $\text{CaO}$ , cal) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Después de la calcinación se procede a la sinterización, proceso mediante el cual la cal reacciona a temperaturas de entre  $1,400\text{-}1,500\text{ }^\circ\text{C}$  con sílice, alúmina y óxido ferroso para formar silicatos, aluminatos y ferritas de calcio (también conocido como “clínker”). La última etapa se refiere al enfriamiento del clínker. Conforme el clínker caliente sale del horno es rápidamente enfriado en un dispositivo especial, como una rejilla transportadora con ventiladores inferiores que soplan aire fresco a través del clínker.

594. Por último, el clínker enfriado revuelve o muele con yeso ( $\text{CaSO}_4$ ) hasta formar un polvo fino, y se mezcla con otros aditivos para producir cemento. El producto final se almacena en silos antes de su transportación en grandes cantidades o su empaquetado en bolsas.

### 5.3.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-75 Principales liberaciones y medios receptores de la producción de cemento

Proceso/etapa	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales *1	Tratamiento/ disposición específicos por sector *1
Producción/manejo de materias primas						
Producción de cemento (formación de clínker)	X			x		x
Disposición del cemento (como desecho de edificios o demoliciones)			x		x	x

Notas: \*1 Los desechos de demoliciones pueden depositarse en rellenos sanitarios de todo tipo de desechos o reutilizarse en trabajos de construcción de caminos y similares.

X -Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

595. Los factores determinantes para la liberación de mercurio son la cantidad de materias primas procesadas, la concentración de mercurio en las materias primas, la cantidad de clínker y cemento producidos, las cantidades y tipos de combustible quemado y las concentraciones de mercurio en cada uno de los combustibles quemados en las instalaciones.

596. La única vía posible de liberación de mercurio a partir de la adquisición de materias primas se debería a la transportación de partículas con mercurio desde la cantera debido al viento. Se espera que las emisiones de mercurio sean insignificantes en las primeras etapas de la producción de cemento de Pórtland (US EPA, 1997a). Como se mencionó antes, el procesamiento de las materias primas es diferente cuando se trata de procesos húmedos o secos. Las emisiones de mercurio pueden tener lugar durante el proceso de secado, pero se supone que serán bajas porque la temperatura de secado suele ser inferior al punto de ebullición del mercurio. Sin embargo, algunos secadores alcanzan temperaturas superiores, lo que podría causar emisiones.

597. Ya que el mercurio se evapora aproximadamente a  $350\text{ }^\circ\text{C}$ , puede esperarse que la mayor parte del mercurio presente en las materias primas se volatilice durante la etapa de calcinación que tiene lugar dentro del horno (US EPA, 1997a). Sin embargo, como ya se dijo, algo de mercurio podría

liberarse durante las etapas de secado y precalentado. Las etapas de procesamiento posteriores a la calcinación deberían de constituir fuentes mucho menos importantes de emisiones (US EPA, 1997a).

598. En las cementeras se queman diversos combustibles a fin de generar calor para el proceso de horneado. Los más comunes son carbón, petróleo, gas o carbón residual de petróleo (coque). Estos combustibles contienen mercurio que se libera durante el proceso de combustión. En muchos casos se recurre a diversos desechos combustibles para complementar el combustible fósil. Los desechos más comunes son petróleos de desecho, solventes, ciertos desechos industriales y en algunos casos desechos peligrosos. Este tipo de combustible también puede contener mercurio. Por lo general, se queman en el extremo (caliente) del quemador del horno. No es raro que se usen llantas enteras o en trozos incorporándolas al horno pero a cierta distancia del extremo caliente (PNUMA, 2003).

599. El mercurio presente en las materias primas que alimentan el horno y en los combustibles se mezcla dentro del horno. Cabe destacar que algunas materias primas (por ejemplo, el yeso) se mezclan con el clínker después del paso térmico y, en consecuencia, el mercurio en ellas contenido llega al producto final.

### 5.3.1.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-76 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la producción de cemento

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción de cemento	Toneladas métricas de cemento producido al año	g de mercurio/toneladas métricas en cada una de las materias primas

600. El calcio, elemento de mayor concentración en el cemento de Pórtland, se obtiene a partir de diversas materias primas calcáreas, como piedra caliza, greda, marga, conchas marinas, dragonita y una piedra caliza impura conocida como “roca de cemento natural”. El resto de las materias primas (silicón, aluminio y hierro) se obtienen de menas y minerales, como arena, lutita, arcilla y mena de hierro. Se espera que el mercurio esté presente en las menas y minerales extraídos de la tierra. En algunos países se usan, además, productos de desecho como materias primas, por ejemplo cenizas volantes (de centrales de energía a carbón), escoria de cobre, cenizas de piritita y escoria de alto horno.

601. Como se dijo antes, el mercurio también está presente en combustibles y desechos combustibles (por ejemplo, llantas) que se queman en estas instalaciones. Los capítulos 5.1 y 5.8 contienen información sobre las concentraciones de mercurio de dichos combustibles y desechos.

602. La siguiente tabla muestra ejemplos del contenido de mercurio en materias primas para la producción de cemento en diversos países.

Tabla 5-77 Contenido de mercurio en materias primas para la producción de cemento, cifras obtenidas en estudios de Estados Unidos, Japón, Suiza, Alemania, Rusia, Bielorrusia y Dinamarca

Fuente	Contenido de mercurio en materias primas, mg/kg peso seco				
	Piedra caliza o marga	Arena y limolita	Arcilla o lutita	Productos de desecho	Metal crudo
Schäfer y Hoenig, 2001 (Alemania) *1					0.03-0.13
Sprung, 1982 (Alemania) *1	0.03		0.45		
Schneider y Oerter, 2000	0.005-0.13		0.02-0.15		0.02-0.5

Fuente	Contenido de mercurio en materias primas, mg/kg peso seco				
	Piedra caliza o marga	Arena y limolita	Arcilla o lutita	Productos de desecho	Metal crudo
(Alemania) *1					
Adriano, 2001 *1	0.04-0.22		0.005-3.25	0.04 y 0.1 (ceniza volante)	
Kanare, 1999 (EE.UU.) *1	<0.01-0.03				
Klemm, 1993 *1					<0.1 y 0.14
Kirchartz, 1994 (Alemania) *1	0.005-0.05		0.02-0.15		>1.0 (cuando se usan materiales alternativos)
Fukuzaki <i>et al.</i> , 1986 (Japón) *1	0.12		0.013	0.17 (escoria de cobre)	
Airey, 1982 *1	0.04 y 0.46				
Bowen, 1979 *1	0.16				
BUWAL, 1997 (Suiza) *1	0.03 y 0.02		0.45		0.02-0.6
Kitamura <i>et al.</i> , 1976 (Japón)*1	0.01-0.22				
Fujinuki, 1979 (Japón) *1	0.07 y 0.04				
Saupe, 1972 *1	0.033 y 0.048				
Rusia, 2003 *2	0.031 (promedio de 131 muestras)	0.039 (promedio de 45 muestras)	0.035 mg/kg (promedio de 58 muestras)		
Dinamarca, 2002 *3	0.01			0.13-0.39 (ceniza volante)	
Kakareka <i>et al.</i> , 1998 (países CEI) *4	<0.01-0.17			0.19-4.0 (ceniza de pirita) 0.01-0.12 (escoria de alto horno)	

Notas: \*1 Citado en Johansen y Hawkins (2003);

\*2 Lassen *et al.*, 2004;

\*3 Skårup *et al.*, 2003;

\*4 Kakareka *et al.*, 1998.

603. La contribución de las materias primas y los combustibles al total de entradas de mercurio varía considerablemente en función de los materiales y combustibles usados. Como lo indica la tabla anterior, el uso de desechos, como las cenizas volantes o de pirita, pueden incrementar significativamente las entradas totales de mercurio.

604. No hay muchos balances de masa completos para el caso de la producción de cemento. A continuación se presenta un ejemplo que muestra las diferentes contribuciones de las materias primas a las entradas totales de mercurio en dos cementeras bielorrusas.

Tabla 5-78 Contenido de mercurio en materias primas para la producción de cemento en dos cementeras bielorrusas (Kakareka et al., 1998)

	Amalgamación Krichevceментnoshiver		JSC Krasnoselskcement	
	Concentración de mercurio mg/kg peso seco	Contribución al total de entradas, %	Concentración de mercurio mg/kg peso seco	Contribución al total de entradas, %
Greda	0.05 *1	38.9	0.05	30.5
Arcilla	0.1	11.2	0.066	12.7
Escoria de pirita	2.16	49.6	2.043	55.9
Escoria granulada de alto horno	0.012	0.1	0.01	0.5
Piedra de yeso	0.013	0.2	0.014	0.4
Petróleo residual	-	-	-	-
Lignosulfato	-	-	-	-
Total		100		100

Notas: \*1 Calculados a partir de la contribución total reportada por greda.

#### 5.3.1.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

605. Se espera que el horno constituya la principal vía de salida de mercurio al aire. Pueden esperarse cantidades insignificantes en las etapas de procesamiento y mezcla de materias primas.

606. En general, sólo una pequeña parte del mercurio termina en los clínker. El resto abandona el horno entre el polvo y el gas de salida. El mercurio se volatiliza fácilmente y se condensa a una temperatura relativamente baja (120-150° C) en partículas de materia prima dentro del sistema del horno (Cembureau, 1999).

607. Parte del mercurio queda capturada en los sistemas de remoción de polvo, por ejemplo, filtros de tela y PES, dependiendo de la tecnología que se use para la limpieza de gases de salida. La eficacia de la captura del mercurio depende de los filtros usados y de la temperatura a la entrada del filtro. Cuanto más baja sea la temperatura del gas de escape a la entrada del filtro, mayor será la proporción de mercurio adherida a las partículas de polvo que pueden removerse del gas de escape (Cembureau, 1999). No hay demasiada información sobre la eficacia de la remoción de mercurio en los diferentes sistemas de reducción de emisiones que se usan en las cementeras, pero ésta es menor en comparación con los sistemas aplicados a otros metales pesados.

608. En Estados Unidos y Canadá las emisiones de los hornos se reducen gracias a los filtros de tela (FT) o a los PES, pero la información sobre la eficacia de estos dispositivos para la remoción de mercurio es escasa. Una fuente indica (US EPA, 1993, referencia citada en Pirrone *et al.*, 2001) que los PES capturan alrededor de 25% y los FT hasta 50% de las posibles emisiones de mercurio como materia particulada. En general, es de esperarse que la eficacia de la remoción de mercurio en los hornos sea comparable con la eficacia de la remoción de mercurio con los mismos dispositivos empleados en las centrales de energía, descritos en la sección 5.1.1. Cabe señalar, sin embargo, que el polvo capturado puede mezclarse con las materias primas y ser reciclado al interior del horno. Cuando se recicla el polvo gran parte de la mayoría de los metales pesados termina en el clínker, pero en el caso del mercurio, elemento relativamente volátil, el resultado del reciclaje puede ser la emisión atmosférica de una mayor parte de mercurio (VDZ, 2001).

609. A partir de las revisiones y análisis de datos disponibles en Estados Unidos sobre las emisiones atmosféricas de mercurio por parte de las cementeras, la US EPA desarrolló un factor promedio de emisiones atmosféricas de 0.65 g de mercurio por tonelada métrica de clínker producido (US EPA, 1997a). Con base en datos reportados al TRI para el año 2001, parece que la mayoría de las

emisiones de mercurio son atmosféricas o a la tierra *in situ* (US EPA, 2003a). Las liberaciones a otros medios parecen ser mínimas a partir de los datos reportados al TRI.

610. La guía de emisiones publicada por EMEP/CORINAIR recomienda una “metodología más sencilla” (cuando se dispone de información limitada): un factor de emisión atmosférica de mercurio de 0.1 g/tonelada métrica de cemento producido (EMEP/CORINAIR, 2001). No se han desarrollado factores de emisión para una “metodología detallada”.

611. Un estudio sobre las liberaciones de mercurio en la Federación Rusa deriva un factor promedio de emisiones de 0.045 g/tonelada métrica de cemento producido a partir de la información sobre el mercurio en las materias primas y el supuesto de que, en promedio, 80% del mercurio en las materias primas es emitido al aire (Lassen *et al.*, 2004).

612. En una respuesta de la Asociación Europea del Cemento ante el cálculo de emisiones de mercurio a partir de la producción de cemento en Europa presentado por la UE en su documento sobre el mercurio (Pirrone *et al.*, 2001), la asociación calcula las emisiones atmosféricas de mercurio de cuatro países europeos con base en las mediciones efectivamente realizadas en Austria (1996), Alemania (1998), Reino Unido (1999) y España (2000). Así, es posible derivar los siguientes factores promedio de emisiones atmosféricas: 0.07 g/tonelada métrica de cemento producido (Austria), 0.2 g/tonelada métrica (Alemania), 0.05 g/tonelada métrica (Reino Unido) y 0.1 g/tonelada métrica (España).

613. En general, sólo una mínima parte del mercurio termina en el clínker. El contenido del mercurio en el cemento final dependerá en gran medida del contenido que registre el resto de los materiales que se mezcla con el clínker después de los pasos de piroproceso.

614. La concentración de mercurio en el yeso producido a partir de los residuos de la limpieza de gases ácidos de salida, por ejemplo, en centrales de energía a base de carbón, puede exceder significativamente la concentración de mercurio en el yeso natural. Si se usa el primer tipo de yeso para la producción de cemento, podría aumentarse de manera importante el contenido de mercurio del cemento como producto final.

615. A partir de un incinerador RSU alemán se reporta que la concentración de mercurio del yeso en el tratamiento de gases ácidos de salida en el período 2000-2003 fue de 0.26 a 0.53 mg/kg (promedios anuales). El informe compara la concentración en el yeso del incinerador con la concentración típica de mercurio en yeso natural y yeso de centrales de energía a base de carbón con cifras respectivas de 0.09 mg/kg y 1.3 mg/kg (en referencia a Beckert *et al.*, 1990).

616. La concentración promedio de mercurio en 418 muestras de cemento producido en Alemania en 1999 fue de 0.07 mg/kg (VDZ, 2000). La concentración estuvo en el rango de <0.02 mg/kg (límite de detección) y 0.3 mg/kg. El contenido total de mercurio en los 36.7 millones de toneladas métricas de cemento producido en Alemania en 1999 puede calcularse en 2.6 toneladas métricas, cifra significativamente superior a las 0.72 toneladas métricas de mercurio emitidas al aire a partir de la producción calculada por la Asociación Europea del Cemento (incluida en Pirrone *et al.*, 2001). Considerando que la concentración de mercurio en clínker (material no procesado de salida del horno) suele ser bastante baja, el origen del mercurio parece encontrarse en otros materiales mezclados dentro del producto final, el cemento. Podría tratarse, por ejemplo, de residuos sólidos provenientes de otros sectores.

617. El contenido promedio de mercurio en el cemento producido en Dinamarca en 2001 se calculó en 0.02-0.05 mg/kg (Skårup *et al.*, 2003).

### 5.3.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

618. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos

específicos por fuente. Se subraya que estos factores por defecto se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación.

619. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

**a) Factores por defecto de entrada de mercurio**

620. No es posible definir un factor de entrada por defecto debido a la falta de datos.

**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

621. No es posible definir factores correlativos por defecto para la distribución de salidas (como lo recomienda generalmente el presente instrumental) en esta categoría de fuente.

622. En el caso de las emisiones atmosféricas, se ha seleccionado una serie de factores tradicionales (basados en los datos de esta sección) a fin de permitir el cálculo por defecto de las liberaciones atmosféricas de mercurio.

623. En el caso del contenido de mercurio en el cemento como producto, se seleccionaron factores simples similares a partir de la información proporcionada en esta sección. Si no se dispone de datos específicos, estos factores pueden usarse para el cálculo por defecto de las cantidades de mercurio en cemento producido y consumido.

624. En el caso de los residuos de la producción que sean desechados, si los hubiera, no ha sido posible establecer factores por defecto debido a la falta de datos.

625. Ya que los datos disponibles varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto).

Tabla 5-79 Factores *preliminares* de liberaciones por defecto para el mercurio a partir de la producción de cemento

Salida	Factores por defecto (mínimo - máximo)
Factor de emisión atmosférica	0.1 - 6 g de Hg/tonelada métrica de cemento producido
Contenido de mercurio en cemento producido	0.02 - 0.1 g de Hg/tonelada métrica de cemento

**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

626. Otras subcategorías relevantes a la fabricación de cemento son la combustión de combustibles fósiles, la incineración de desechos, la producción de cal y posiblemente algunas más.

**5.3.1.6 Datos principales por fuente**

627. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos sobre las concentraciones de mercurio en diversos tipos de materias primas y combustibles usados en la fuente;

- Cantidades de cada tipo de materia prima y combustible usado;
- Cantidad de clínker producido, y
- Datos medidos sobre los equipos de reducción de emisiones usados en la fuente o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares.

## 5.3.2 Producción de pulpa y papel

### 5.3.2.1 Descripción de la subcategoría

628. En la industria de la pulpa y el papel, la pulpa se produce con métodos químicos o mecánicos, o una combinación de ambos, a partir de la madera cruda. La fuente de entradas de mercurio está en los niveles traza de esta sustancia que se encuentran en la materia prima (la madera), en los combustibles empleados para la producción de energía y, con toda probabilidad, en los químicos que participan en el proceso (NaOH, cloruro y tal vez otros). Antes, el uso de lamicidas con contenido de mercurio contribuía a las liberaciones a partir de la producción de pulpa y papel en los países occidentales. Esta práctica ya no es común en esos países, pero podría seguir llevándose a cabo en otras partes del mundo. Entre las vías de salida del mercurio dentro del proceso de manufactura de papel y pulpa destacan las emisiones atmosféricas a partir de los procesos de combustión que implican combustibles fósiles, corteza y otros desechos de madera, y carbón con efluentes de los procesos (para el reciclaje de químicos y producción de energía), así como el depósito de desechos sólidos y liberaciones acuosas derivadas de los procesos. Esta subcategoría constituye una fuente potencial de liberaciones de mercurio que implica materiales con concentraciones muy bajas de este metal, pero que se trabajan en grandes cantidades.

### Resúmenes de procesos

629. Los cuatro procesos químicos más importantes para la producción de pulpa de madera son (1) kraft (pulpa sulfatada), (2) soda o sosa, (3) sulfito y (4) semiquímico (US EPA, 1997a). En el proceso de producción de pasta o pulpa kraft las astillas se “cocinan” bajo presión en un digestor en solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S), conocida como “licor de cocción” o “licor blanco”. Tienen lugar diversos procesos (no descritos aquí) y se produce una pulpa lavada. Ésta puede pasar por una secuencia de blanqueado antes de ser prensada y puesta a secar para tener el producto terminado. Parte del mercurio presente en las astillas de madera llegará al producto final y el resto llegará al licor de cocción usado. Se espera que los niveles de mercurio en el producto y el licor sean relativamente bajos porque los niveles de este metal en las astillas también lo son. Se espera que varíe la cantidad de mercurio presente en las astillas de madera entre un molino y otro, dependiendo del origen de la madera y el proceso que siga cada molino. Las emisiones de mercurio están asociadas a las unidades de combustión que se encuentran en el área de recuperación de químicos. El área de recuperación de químicos en todo molino de pulpa kraft incluye hornos para la recuperación de químicos, tanques de disolución del fundido (TDF) y hornos de cal (US EPA, 1997a).

630. Los otros procesos de fabricación de pasta química son similares al proceso propio de la pasta kraft, pero tienen algunas diferencias significativas. El proceso de fabricación de pasta soda es básicamente igual al proceso kraft, con la excepción de que la fabricación de pasta soda es un proceso libre de azufre (sólo se usa Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> o una mezcla de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y NaOH) y, por ende, no requiere de la oxidación del licor negro para reducir las olorosas emisiones de azufre (US EPA, 1997a).

631. El proceso de fabricación de pasta de sulfito es similar al proceso correspondiente al kraft, excepto por el uso de un licor ácido de cocción para las astillas de madera. De manera parecida a los molinos de pulpa kraft, el licor usado se recupera quemándolo en un tipo de unidad de combustión. Los molinos de pulpa de sulfito usan unidades de combustión como los hornos de recuperación y los reactores de lecho fluidizado. Las temperaturas típicas de combustión dentro de estas unidades son de entre 704 y 760 °C. Estas temperaturas son lo suficientemente altas para volatilizar el mercurio que pudiera estar presente (US EPA, 1997a).

632. El proceso semiquímico de fabricación de pasta sirve para producir, por ejemplo, corrugado medio (el revestimiento de los contenedores corrugados) o calidad de papel periódico. Este proceso combina varios métodos químicos y mecánicos de fabricación de pasta. Primero, se suavizan parcialmente las astillas de madera en un digestor con químicos, vapor y calor; cuando las astillas están suaves, se aplican métodos mecánicos para completar el proceso de fabricación de pasta. Actualmente se usan tres tipos de métodos mecánicos en los molinos semiquímicos: neutro semiquímico sulfito (NSSC) (proceso de sulfito a base de sodio), licor verde y kraft, y libre de azufre (sólo  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  o una mezcla de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{NaOH}$ ). Algunos molinos colocan conjuntamente los procesos semiquímico y de fabricación de pasta. Ese tipo de molinos en Estados Unidos incluyen la quema del licor usado en el proceso semiquímico de fabricación de pasta dentro de un horno de recuperación de kraft (US EPA, 1997a).

633. Algunos molinos sólo usan el proceso semiquímico de fabricación de pasta. Se les conoce como “molinos autónomos de pulpa semiquímica” y recurren a diversos equipos de recuperación de químicos para quemar el licor usado. Entre los equipos de recuperación de químicos empleados en los molinos autónomos de pulpa semiquímica se encuentran reactores de lecho fluidizado, hornos de recuperación, fundidoras, hornos rotatorios de licor y unidades de pirolisis. Las temperaturas típicas en los hornos de recuperación y fundidoras son similares a las de los hornos para kraft y soda, mientras que las temperaturas típicas de los reactores de lecho fluidizado y los hornos rotatorios de licor alcanzan entre 704 y 760 °C. De manera similar al proceso de fabricación de kraft, los químicos de cocción de licor en los molinos semiquímicos se recuperan del equipo de recuperación tras la combustión como cenizas o material fundido; se mezclan con agua en un tanque disolvente para formar licor verde. Después, el licor verde se combina con químicos de reposición o complemento para formar el licor fresco de cocción. La temperatura típica en la rejilla de ventilación del tanque de disolución es de 85 °C, muy por debajo del punto de volatilización del mercurio. Por ende, se espera que el mercurio se encuentre en forma de partículas en la rejilla de ventilación del tanque de disolución (US EPA, 1997a).

### 5.3.2.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-80 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la producción de pulpa y papel

Procesos	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción de pulpa y papel	X	x	x		x	x
Disposición del papel						

Notas: X- Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

634. Es posible introducir el mercurio al proceso de fabricación de pasta a través de la madera de la que se extrae la pulpa, en los líquidos usados en el proceso de fabricación de pasta y como contaminante en las sustancias químicas de reposición o complemento añadidas al proceso. La concentración de mercurio en la madera y otras materias primas es un factor importante para la determinación de las liberaciones.

635. Si no se purga el mercurio en las aguas residuales o como posos, puede acumularse en el área de recuperación de sustancias químicas y ser liberado a partir de las fuentes de combustión en ese proceso de recuperación. La cantidad de mercurio emitido dependerá de lo hermético del proceso de fabricación de pasta (por ejemplo, cuánto se reciclan y reutilizan los fluidos) (US EPA, 1997a).

### 5.3.2.3 Discusión de las entradas de mercurio

636. El mercurio está presente en la madera y otras materias primas en diversas concentraciones.



637. La US EPA recomienda un factor de emisión atmosférica promedio de 0.0026 g de mercurio por tonelada métrica de madera quemada como “mejor típico factor de emisión” para la combustión de desechos de madera en calderas dentro de ese país (US EPA, 1997b).

638. Las investigaciones realizadas en Estados Unidos señalan un contenido de mercurio en lechos de paja y vegetación verde con muestras de siete localidades en el rango de 0.01 – 0.07 mg Hg/kg de peso seco (Friedly *et al.*, 2001).

639. Investigaciones realizadas en Suecia encontraron concentraciones de mercurio en el rango de 0.01 - 0.02 mg/kg de peso seco en leña; sin embargo, se encontraron concentraciones de 0.03 - 0.07 mg/kg de peso seco en madera de sauce (Kindbom y Munthe, 1998). En el caso de la corteza, se encontró una concentración de mercurio de 0.04 mg/kg de peso seco, mientras que se registraron concentraciones de 0.3 - 0.5 mg/kg de peso seco en las agujas de abeto (Kindbom y Munthe).

#### 5.3.2.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

640. En Estados Unidos sólo se dispone de datos de emisiones de mercurio a partir de las unidades de combustión en los molinos de pulpa kraft. Se dispone de datos sobre emisiones detectables de mercurio en ocho hornos de recuperación, un tanque de disolución del fundido (TDF) y tres hornos de cal situados en 11 molinos de pulpa kraft. Se calcularon factores promedio de emisiones de mercurio para los hornos de recuperación, TDF y hornos de cal con base en los datos disponibles. La siguiente tabla muestra los factores promedio de emisiones de mercurio para esas unidades, incluidos los hornos de recuperación, TDF y hornos de cal.

Tabla 5-81 Factores de emisión atmosférica para diversas unidades en los molinos de pulpa y papel de Estados Unidos (US EPA, 1997a)

Unidad de combustión de kraft	Factor de emisiones (Kg/tonelada métrica)	Número de unidades probadas/dispositivo de control
Horno de recuperación	$2 \times 10^{-5}$ *1	8 hornos de recuperación, cada uno controlado con un PES
Tanque de disolución del fundido	$2.6 \times 10^{-8}$ *2	1 TDF, controlado con eliminador de rocío
Horno de cal	$1.5 \times 10^{-6}$ *2	3 hornos de cal, cada uno controlado con un depurador húmedo

Notas: \*1 – kg de Hg emitidos por toneladas métricas de sólidos de licor negro quemados en el horno de recuperación o TDF;

\*2 – kg de Hg emitidos por toneladas métricas de cal producida en el horno.

641. Las emisiones totales de mercurio por año (para 1994) en Estados Unidos (considerando 153 instalaciones) se calcularon con estos factores de emisión para hornos de recuperación de kraft y soda, y hornos TDF y hornos de cal. Se calculó que el total de emisiones de mercurio era de 1.6 toneladas métricas. Ya que hay 153 instalaciones, se calculó un promedio de 0.01 toneladas métricas de emisiones en cada una de ellas. La mayor fuente de emisiones de mercurio en la recuperación de sustancias químicas es el horno de recuperación (US EPA, 1997a).

642. Casi todas las emisiones de mercurio provenientes de la manufactura de pulpa y papel se deben a los procesos de recuperación de kraft y soda (aproximadamente 99.9%) (US EPA, 1997a). Se sumaron las emisiones calculadas en todas las instalaciones y se llegó a la cifra aproximada de 1.7 toneladas métricas de emisiones de mercurio en 1996 para el inventario estadounidense. (US EPA, 1997b)

643. La tabla 5-82 muestra las liberaciones de compuestos de mercurio y mercurio en todas las vías registradas en Estados Unidos en 2002. Las principales vías son las liberaciones atmosféricas y las

liberaciones a los depósitos de desechos sólidos. No se reportan compuestos específicos de mercurio y no es posible calcular el total de las liberaciones de mercurio a través de los datos.

Tabla 5-82 *Liberaciones de mercurio y compuestos de mercurio a partir de la producción de pasta kraft y papel en Estados Unidos, 2002 (TRI, 2004)*

Vía de liberación	Compuestos de mercurio		Mercurio (elemental)	
	kg/año	%	kg/año	%
Aire	2,098	71	319	39
Agua superficial	36	1	19	2
Tratamiento de suelos y depósitos municipales superficiales	217	7	20	2
Tratamiento de aguas residuales fuera de las instalaciones	3	0	0	0
Depósito de desechos sólidos fuera de las instalaciones	594	20	451	56
TOTAL (redondeado %)	2,948	100	809	100

### 5.3.2.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

644. No se desarrollaron factores por defecto para este sector en la presente versión del instrumental. Use los factores de emisión atmosférica en la tabla 5-81 [factores estadounidenses] para obtener cálculos aproximados de liberaciones para algunas de las vías con potencial de emisión de mercurio en este sector.

#### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

645. Puede elegirse incluir las unidades de energía a base de quema de combustibles fósiles y combustión de calor situadas en las instalaciones en este sector dentro de los procesos de combustión descritos en la sección 5.1; tome las previsiones necesarias para evitar la duplicación contable.

## 5.3.3 Producción de cal y hornos de agregados ligeros

### 5.3.3.1 Descripción de la subcategoría: producción de cal

646. Esta subcategoría incluye la producción de cal en hornos de cal (a diferencia de la cal producida en cementeras y molinos de pulpa y papel, procesos descritos en secciones anteriores del presente documento) y hornos de agregados ligeros.

647. Hay diversas formas de producir cal; el grueso de la producción proviene de la cal hidratada o cal viva. En 1994 se produjeron  $17.4 \times 10^6$  toneladas métricas de cal en 109 plantas en Estados Unidos. La cal se usa en la fabricación de acero, pulpa y papel, y en el tratamiento de agua, aguas residuales y emisiones de chimeneas (US EPA, 1997a).

648. La cal es producto de la calcinación de piedra caliza (es decir, la remoción de  $\text{CO}_2$  de la piedra caliza) a alta temperatura (US EPA, 1997a). La calcinación, proceso que implica la quema de carbonato de calcio a altas temperaturas, es el principal paso en las instalaciones productoras de cal durante el cual se libera mercurio (NESCAUM, 1998).

649. El producto de la calcinación es la cal viva; este material puede hidratarse con agua a fin de producir cal hidratada o cal apagada. El producto de la calcinación de dolomita es la cal viva dolomita; también puede hidratarse (US EPA, 1997a).

650. La producción de cal se lleva a cabo en cinco pasos: 1) extracción de piedra caliza en cantera; 2) preparación de la piedra caliza para su calcinación; 3) calcinación de la piedra caliza; 4) procesamiento de la cal por hidratación, y 5) procesos misceláneos de transferencia, almacenamiento y manejo.

651. Los pasos para la manufactura de cal son muy parecidos a los pasos para producir cemento de Pórtland, tema ya abordado en otra sección del presente instrumental.

652. Durante la calcinación, la temperatura del horno puede alcanzar los 1820 °C. Alrededor de 90% de la cal producida en Estados Unidos se logra calcinando piedra caliza en un horno rotativo. También hay hornos verticales, chimeneas rotativas y hornos de lecho fluidizado (US EPA, 1997a).

653. Puede recurrirse a algún combustible (carbón, petróleo, carbón residual del petróleo o gas natural) como suministro de energía para la calcinación. Es común usar el carbón residual del petróleo en combinación con carbón; no es común usar petróleo como fuente de combustible. Asimismo, puede recurrirse a combustibles auxiliares, como trozos de plástico y solventes de desecho (US EPA, 1997a).

654. Se espera que el mercurio esté presente en muy pequeñas cantidades en la piedra caliza y algunos combustibles. El contenido de mercurio en carbón, petróleo y otros combustibles se aborda en la sección 5.1. De manera similar a la producción del cemento de Pórtland, se espera que todo el mercurio presente en las materias primas se libere atmosféricamente a partir del horno de cal. La combustión de combustible en el horno de cal constituye una fuente primordial de emisiones de mercurio.

655. Otras fuentes de emisiones durante la producción de cal son las emisiones del proceso o emisiones fugitivas. La MP constituye el principal contaminante en este tipo de fuentes fugitivas. En 1997, la US EPA reportó que la literatura sobre fuentes fugitivas no incluía medidas de control específicas para la industria de la cal en Estados Unidos (US EPA, 1997a).

656. Las medidas de reducción usadas para las fuentes de polvos fugitivos en las instalaciones de producción de cemento de Pórtland podrían aplicarse a las industrias productoras de cal. Los dispositivos para controlar la contaminación atmosférica en hornos de cal se usan básicamente para recuperar producto o controlar polvos fugitivos y emisiones de MP. Los gases del escape del horno de calcinación suelen dirigirse a un ciclón para la recuperación del producto, después pasan por un filtro de tela o PES para recoger las emisiones de partículas finas. Los hornos de cal pueden incluir otros tipos de controles de emisiones, como los depuradores húmedos (por lo general, depuradores venturi). No se ha documentado información acerca del desempeño de estos dispositivos de control de contaminación atmosférica en relación con las emisiones de mercurio en estado de vapor durante la producción de cal. Se espera que la eficacia de los controles sea similar a la observada en la producción del cemento de Pórtland debido a las similitudes entre los procesos y los dispositivos de control (US EPA, 1997a).

657. Las emisiones de mercurio a partir de la combustión de combustible salen del horno de cal (calcinación). El mercurio presente en la piedra caliza también es emitido a través del horno. Se espera que el resto de las posibles fuentes de emisión a lo largo del proceso contribuyan de manera menor a la totalidad de las emisiones de mercurio.

### **5.3.3.2 Descripción de la subcategoría: hornos de agregados ligeros**

658. Los hornos de agregados ligeros procesan diversas materias primas (como yeso, esquisto o pizarra) que, después del proceso térmico, pueden combinarse con el cemento para formar productos de concreto. Este concreto de agregados ligeros obedece a necesidades estructurales o de aislamiento térmico. En general, las instalaciones de agregados ligeros disponen de una cantera, un área para la preparación de las materias primas, un horno, un enfriador y un área de almacenamiento del producto. Los materiales se extraen de la cantera y se transportan al área de preparación para después introducirlos al horno rotativo (US EPA, 1997a).

659. En los hornos de agregados ligeros hay un horno rotatorio con un cilindro largo de acero, recubierto internamente con ladrillos refractarios, capaz de rotar alrededor de su eje e inclinado a un ángulo de aproximadamente 5 grados en relación con la horizontal. La longitud del horno depende, en parte, de la composición de la materia prima a procesar, pero en términos generales es de 30 - 60 metros. El horno se alimenta con la materia prima por el extremo superior y el proceso de combustión ocurre en el extremo inferior. La materia prima seca que entra en el horno se precalienta con gases calientes de combustión. Una vez precalentada, la materia prima pasa a una segunda zona del horno donde se funde hasta lograr una consistencia semiplástica y empieza a generar gases que sirven como agente expansivo. Ahí, los compuestos específicos empiezan a descomponerse y forman gases como SO<sub>2</sub>, CO, SO y O<sub>2</sub> que posteriormente provocan la expansión deseada al interior de la materia prima. A medida que las temperaturas llegan al máximo (aproximadamente 1150 °C), la materia prima semiplástica se torna viscosa y atrapa los gases expansivos. Este proceso produce células de gas independientes que permanecen en el material después de su enfriamiento y solidificación. El producto sale del horno y entra en una sección del proceso donde se enfría con aire frío y después se transporta hasta la zona de descarga (US EPA, 1997a).

660. Los parámetros de operación de los hornos, como la temperatura de la flama, el exceso de aire, el flujo de materiales y la rapidez de la rotación varían de una planta a otra y están determinados por las características de la materia prima. La temperatura máxima en un horno rotativo varía entre alrededor de 1120 y 1260 °C, dependiendo del tipo de materia prima procesada y su contenido de humedad. Las temperaturas típicas de salida pueden estar en un rango de 427 a 650 °C, también dependiendo de la materia prima y el diseño del interior del horno. Se inyecta aproximadamente 50 a 200% de aire excedente al horno para ayudar a expandir la materia prima (US EPA, 1997a).

661. La principal fuente de emisiones de mercurio en los hornos de agregados ligeros es la chimenea de escape de los gases de salida (gases de combustión).

662. Los hornos de agregados ligeros pueden incluir un dispositivo de control de contaminación atmosférica o combinar varios, como los filtros de tela, los depuradores venturi, los ciclones y los depuradores secos. Todas las instalaciones situadas en Estados Unidos usan filtros de tela como principal tipo de control de emisiones, aunque es posible añadir una secadora de rocío, un depurador venturi o un depurador seco al uso de un filtro de tela (US EPA, 1997a). Estos dispositivos de control pueden capturar parte del mercurio en la corriente del gas y reducir así las emisiones atmosféricas.

### 5.3.3.3 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-83 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la producción y el procesamiento de otras materias primas

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción	X			x		

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

663. Las concentraciones de mercurio en las materias primas usadas y las medidas de control de emisiones son los principales factores que determinan las liberaciones de este metal

### 5.3.3.4 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-84 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la producción de cal

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción	Cantidades de materias primas usadas	Concentraciones de mercurio en las materias primas usadas

664. El mercurio está presente en la piedra caliza que se procesa para fabricar cal (NESCAUM, 1998).

### 5.3.3.5 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

665. Se calculó un factor de emisiones atmosféricas de 0.055 g de mercurio por tonelada métrica de producción de cal en hornos de cal usando un enfoque de balance de masa fundado en la información sobre el contenido de mercurio en la piedra caliza de 5 hornos situados en Wisconsin (Miller, 1993, citado por NESCAUM, 1998). NESCAUM (1998) aplica este factor de emisiones para calcular las liberaciones atmosféricas de 15 kg por año en una instalación de producción de cal en Massachussets, Estados Unidos.

666. En 1994 había 109 plantas de producción de cal en Estados Unidos (US EPA, 1997a). Según datos de la US EPA, las 109 plantas liberaron un total de 37.8 toneladas de mercurio a los suelos, 0.1 toneladas de mercurio al aire y menos de 0.05 toneladas métricas al agua. La planta con mayores índices de emisión dentro de ese país reporta liberaciones de 37500 kg a la tierra y alrededor de 1 kg al aire (US EPA, 2003a, datos de liberaciones TRI para el año 2001).

667. Se dispone de datos sobre dos instalaciones en Estados Unidos y una en Canadá (US EPA, 1997a). En Canadá, se probaron dos hornos diferentes: un horno rotatorio alimentado con carbón/coque y un horno vertical alimentado con gas natural. En el primer caso, los resultados de las pruebas mostraron un factor promedio de emisiones de mercurio de 9 miligramos (mg) de mercurio por tonelada métrica de cal producida (o 9 mg de Hg/tonelada métrica de cal producida); los factores de emisión estuvieron en el rango de 8 mg a 10 mg de Hg/tonelada métrica de cal producida en cuatro ejecuciones de pruebas. En el caso del horno vertical, los resultados mostraron un factor de emisión promedio de mercurio de 1.5 mg de Hg/tonelada métrica de cal producida. Los datos de proceso de las pruebas realizadas en la instalación canadiense sirvieron para calcular la cantidad de piedra caliza requerida para producir 0.91 toneladas métricas de cal. A partir de los datos de proceso del horno rotativo, el coeficiente promedio de piedra caliza a cal producida fue de 0.50 (es decir, se requiere de 2 toneladas de piedra caliza para producir 1 tonelada de cal). El coeficiente promedio para el horno vertical se calculó en 0.51. Los resultados de las pruebas realizadas en una de las instalaciones estadounidenses muestran un factor promedio de emisiones de mercurio de 1.9 mg de Hg/tonelada métrica de piedra caliza usada. Con base en la relación 2:1 entre la piedra caliza y la cal producida, esto corresponde a un factor de emisiones de 3.8 mg de Hg/tonelada métrica de cal producida. En la otra instalación, los resultados mostraron un factor de emisión promedio de mercurio de 4.7 mg/tonelada métrica de piedra caliza usada. Con base en el coeficiente de conversión 2:1, esto corresponde a un factor de emisión de mercurio de 9.4 mg de Hg/tonelada métrica de cal producida (US EPA, 1997a).

668. Se combinaron los factores promedio de emisiones atmosféricas de mercurio de los hornos rotativos alimentados con carbón en la instalación canadiense y las dos instalaciones estadounidenses; el factor promedio resultante de emisiones atmosféricas de mercurio fue de 7.4 mg de Hg/tonelada métrica de cal producida (US EPA, 1997a).

**5.3.3.6 Factores de entrada y factores de distribución de salidas**

669. No se intentó establecer factores por defecto para esta subcategoría.

**5.3.4 Otros minerales y materiales**

670. Tal vez haya otras posibles fuentes de mercurio; incluya todos los datos que observe al respecto en el inventario. El presente instrumental no pretende describir ninguna de esas fuentes.

## 5.4 Uso deliberado de mercurio en procesos industriales

Tabla 5-85 *Uso deliberado de mercurio en procesos industriales: subcategorías con principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

Capítulo	Subcategorías	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desecho / residuo	Principal enfoque para el inventario
5.4.1	Producción de cloroálcali con tecnología de mercurio	X	X	X	X	X	FP
5.4.2	Producción de VCM (monómeros de cloruro de vinilo) con bicloruro de mercurio (HgCl <sub>2</sub> ) como catalizador	x	x			X	FP
5.4.3	Producción de acetaldehídos con sulfato de mercurio (HgSO <sub>4</sub> ) como catalizador	?	?	?	?	?	FP
5.4.4	Otras formas de producción de químicos y polímeros con compuestos de mercurio como catalizadores	?	?	?	?	?	FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente;  
 ? - Pueden registrarse liberaciones, pero no se dispone de datos al respecto.

### 5.4.1 Producción de cloroálcali con tecnología de mercurio

#### 5.4.1.1 Descripción de la subcategoría

671. En las instalaciones de cloroálcali con celdas de mercurio, se usa mercurio elemental como electrodo de fluido en procesos electrolíticos para la producción de cloruro e hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH) a partir de agua salobre (la electrólisis separa la sal, NaCl). También se produce hidrógeno como derivado. Es común referirse al proceso como de “célula o celda de mercurio”. Debe destacarse el amplio uso de otros dos métodos (sin mercurio): el proceso de membrana y el proceso de diafragma. La porción que representa el proceso de celda de mercurio en la capacidad nacional de producción varía de un país a otro y muestra una tendencia general a reducirse. En muchos países las industrias se han comprometido a no fincar la producción de nuevas instalaciones de cloroálcali en el proceso de celda de mercurio y en algunos países/regiones se está trabajando hacia la conversión o clausura de ese tipo de instalaciones.

672. El mercurio es liberado al medio ambiente con las emisiones atmosféricas, las descargas de agua, en los desechos sólidos y, en menor grado, en los productos (como el NaOH).

#### Procesos

673. Todos los ciclos de la producción en la celda de mercurio incluyen una celda electrolítica alargada, un descomponedor, una bomba de mercurio, tubería y conexiones a otros sistemas (Anscomb, 2004). El electrolizador produce gas cloro y el descomponedor produce gas hidrógeno y solución cáustica (NaOH o KOH). El electrolizador suele ser una artesa alargada de acero rodeada de paneles y con una cubierta superior, y su capacidad común es de aproximadamente 3,600 Kg de mercurio. El descomponedor es un recipiente cilíndrico que se encuentra en la salida del electrolizador. Es común que ambos estén unidos por una caja de conexión de entrada y una caja de conexión de salida. Hay un flujo continuo de salmuera y chorro somero de mercurio líquido elemental entre el electrolizador y el descomponedor. Aunque cada celda constituye una unidad de producción

independiente, muchas celdas están conectadas eléctricamente en series. Es común que una planta tenga muchas celdas. Por ejemplo, en Estados Unidos cada planta tiene de 24 a 116 celdas, con un promedio de 56 (US EPA 2002b). Es posible que una sola instalación consuma muchas toneladas métricas de mercurio. Si se desea consultar descripciones exhaustivas de los procesos, las liberaciones, etc., véase por ejemplo el Documento de Referencia de la CE sobre Mejores Técnicas Disponibles en la Industria Manufacturera de Cloroálcali (Comisión Europea, 2001b).

674. Se aplica una corriente eléctrica dentro del electrolizador que causa la separación del gas cloro de la sal (salmuera de cloruro de sodio); el sodio (o a veces potasio) se une al mercurio para formar una amalgama (amalgama Na-Hg o K-Hg). El gas cloro se recoge y la amalgama de mercurio sale por la caja de conexión de salida y entra al descomponedor; ahí, la amalgama (Na-Hg o K-Hg) se convierte, mediante otra reacción electrolítica, en solución cáustica (NaOH o KOH), gas hidrógeno y mercurio elemental. La sosa cáustica y el hidrógeno se transfieren a otro equipo y el mercurio se bombea nuevamente al interior de la celda.

#### 5.4.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-86 Principales liberaciones y medios receptores de la producción de cloroálcali con tecnología de mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Producto *3	Desechos generales *2	Tratamiento/ disposición específicos por sector *1
Producción de cloroálcali en celda de mercurio	X	X	X	X	X	X

Notas: \*1 Puede incluir tratamientos para recuperar mercurio, rellenos sanitarios seguros como desecho peligroso. El vertido *in situ* o en otro lugar se considera como liberaciones directas a la tierra;

\*2 Sólo en casos de depósito de desechos de producción en rellenos sanitarios generales;

\*3 Pueden perderse cantidades significativas de mercurio al producto cáustico. Por ejemplo, una exhaustiva reseña de la industria del cloroálcali en la India elaborada por el Centro para la Ciencia y el Medio Ambiente reporta que 10.6% del mercurio perdido vía producción se encontrará en los productos (o 15.5 gramos/tonelada de sosa cáustica producida). La mayoría de ese mercurio (10 gramos/tonelada de sosa cáustica producida) está en el producto, la sosa cáustica, pero una cantidad considerable (5.25 g/tonelada de sosa producida) se encuentra en el producto hidrógeno. Ya que las plantas de la India pierden tanto mercurio, la pérdida es importante tanto en un sentido absoluto como relativo (CSE, 2002, citado en comentarios NRDC a PNUMA Productos Químicos, 2005);

X -Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

675. El mercurio se libera al medio ambiente a través de emisiones atmosféricas, liberaciones al agua, en desechos sólidos y en productos (como NaOH). Estas liberaciones pueden ocurrir en diversas etapas y ubicaciones del proceso. El grado de liberaciones a los distintos medios (aire, agua, tierra) en diversas etapas y puntos de liberación dentro del proceso depende en gran medida del nivel de controles vigentes, las prácticas de manejo/en el lugar de trabajo, los procedimientos de tratamiento/depósito de aguas y otros factores.

676. La mayoría de las liberaciones de mercurio son emisiones atmosféricas fugitivas provenientes del cuarto de celdas y otras ubicaciones. Las medidas preventivas y las buenas prácticas pueden reducir significativamente este tipo de emisiones (PNUMA, 2002). Los principales puntos específicos de salidas de mercurio al aire son el sistema de ventilación de la caja de conexión y la rejilla de ventilación de gas hidrógeno. Es posible aplicar diversas técnicas de control a fin de reducir los niveles de mercurio en las corrientes de hidrógeno y en los sistemas de ventilación de la caja de conexión; las más comunes son (1) enfriamiento de la corriente de gas, (2) eliminadores de rocío, (3) depuradores y (4) adsorción sobre carbono activado o cribas moleculares. El enfriamiento de la corriente de gas puede usarse como técnica principal de control de mercurio o como paso preliminar previo a la



aplicación de un dispositivo de control más eficiente. El uso adecuado de estos dispositivos puede retirar más de 90% del mercurio de las corrientes de gas (Pacyna y Pacyna, 2000). A continuación se comenta cada uno de los procesos y/o ubicaciones importantes donde pueden registrarse liberaciones.

677. **Ventilación de la caja de conexión.** En muchas plantas se usa un sistema de ventilación de la caja de conexión a fin de ventilar el aire de las cajas de conexión y, a veces, otros equipos. La concentración de mercurio en estos sistemas de ventilación antes de la adopción de medidas para retirar el metal varía mucho en función del equipo desocupado. Es muy frecuente que los gases recogidos sean enfriados y tratados con equipos de control. Sin embargo, algo de mercurio queda en la corriente tratada que sale del sistema de ventilación de la caja de conexión y se libera al aire (US EPA 1997a). La cantidad de liberaciones con este sistema depende mucho del tipo de controles empleados.

678. **Corriente de hidrógeno.** El gas hidrógeno que sale del descomponedor contiene altas concentraciones de vapor de mercurio (hasta 3,500 mg/m<sup>3</sup>). En la mayoría de las situaciones, cada descomponedor está equipado con un enfriador adyacente al que llega la corriente de gas hidrógeno para condensar el mercurio y devolverlo a la celda. Después del enfriamiento inicial, el gas hidrógeno de cada descomponedor se recoge y lleva a un ducto común. El mercurio adicional se retira del gas combinado con otros equipos de enfriamiento y adsorción (o absorción) de control. Sin embargo, algo de mercurio queda en la corriente tratada; éste se ventila a la atmósfera (o en algunos casos se quema como combustible en una caldera o se transfiere a otro proceso como materia prima).

679. **Emisiones atmosféricas fugitivas.** Los seres humanos no pueden oler ni ver el vapor de mercurio (bajo luz normal). Es posible detectarlo con analizadores de vapores de venta libre. Además, cuando el mercurio elemental líquido es visiblemente accesible al aire libre, emite algo de vapor a una tasa que depende de la temperatura y otros factores. Por lo tanto, la inspección visual para detectar mercurio visible constituye una práctica de trabajo efectiva para recortar las emisiones atmosféricas. Sin embargo, el vapor de mercurio también puede generarse por fugas en equipos presurizados, operaciones de mantenimiento y disfunción, carente de evidencia visual de mercurio líquido. Por lo tanto, otra práctica laboral es la inspección visual para detectar fugas de vapor en los equipos de producción mediante luces de espectro ultravioleta. Cuando se detectan fugas de vapor, los trabajadores toman medidas para taparlas. Otros métodos para reducir las posibles emisiones atmosféricas fugitivas son la limpieza de mercurio líquido independiente y el cerramiento al vacío de desechos con contenido de mercurio.

680. No se conocen estudios realizados en un período plenamente representativo y continuo desde el punto de vista operativo sobre las emisiones atmosféricas en los cuartos de las celdas que no provengan de las chimeneas, incluida la gama completa de medidas invasivas de mantenimiento periódico y las posibles disfunciones de los equipos. Es necesario destacar que las emisiones en el cuarto de celdas deben de calcularse midiendo el vapor de mercurio sobre los equipos de producción, dentro de la corriente de aire térmico a partir de los equipos de producción caliente a fin de obtener resultados representativos.

681. Las empresas de cloroálcali de Estados Unidos han desarrollado voluntariamente métodos operativos detallados para la prevención de emisiones atmosféricas fugitivas. Dichos procedimientos se encuentran en <http://www.usepa.gov/Region5/air/mercury/hgcontrolguidance-final.pdf> y pueden ser muy valiosos para las fábricas de cualquier país.

682. **Desechos sólidos.** Se producen diversos desechos sólidos contaminados con mercurio. El nivel de seguridad del manejo de desechos sólidos es variable y puede incluir el tratamiento *in situ* con procesos de recuperación de mercurio, el uso de rellenos sanitarios de desechos peligrosos o la disposición *in situ* o en rellenos sanitarios generales. Entre los desechos sólidos generados destacan los siguientes: lodos de tratamiento de aguas residuales (descritos a continuación) y diversos desechos no específicos, como grafito de los descomponedores, lodos de desagüe en cuartos de celdas y dispositivos usados para la adsorción de carbono. Además, se depositan diversos artículos grandes contaminados, como ferretería, equipos de protección, tubería y otros equipos.

683. Es posible recuperar y reciclar parte del mercurio que se encuentra en los desechos sólidos para reintegrarlo al proceso de producción (por lo general como parte integral *in situ* de las instalaciones). Por ejemplo, en Estados Unidos, nueve de doce plantas de cloroálcali con celda de mercurio cuentan con procesos para la recuperación de mercurio *in situ*. El tipo más común es la recuperación térmica (retorta), en el que se calientan los desechos con contenido de mercurio para volatilizar el metal y después condensarlo, recuperarlo y volver a usarlo como insumo del proceso de celda de mercurio (US EPA, 2002b). Sin embargo, no todo el mercurio se captura con este proceso; algo de mercurio se libera al aire a través de la rejilla de ventilación de gases. Otras plantas recurren a procesos químicos o de purificación de cargas intermitentes (US EPA, 2002b). Además, es posible que las plantas instaladas en otros países y regiones no cuenten con tratamiento de desechos sólidos. En esos casos, las liberaciones provenientes de ese tipo de desechos podrían ser significativas.

684. Además, los procesos de recuperación de mercurio generan algunos desechos sólidos (con contenido de mercurio). Por ejemplo, el proceso de retorta produce cenizas de retorta que, por lo general, contienen niveles bajos de mercurio. Otros procesos de recuperación también generan algunos desechos sólidos, como el proceso químico mediante el cual el sulfuro mercúrico y el mercurio elemental se transforman en cloruro mercúrico (US EPA, 2002b).

685. **Mercurio en productos.** El producto cáustico contiene bajos niveles de mercurio en forma de cloruro mercúrico, con relativamente baja presión de vapor; por ende, las emisiones atmosféricas son mínimas. La concentración de mercurio en la corriente cáustica que sale del descomponedor está en el rango aproximado de 3 a 15 ppm (estos valores pueden reflejar la situación en Estados Unidos). El mercurio se retira mediante enfriamiento y filtración. Este proceso produce cierta cantidad de aguas residuales con contenido de mercurio, por lo general sometida al tratamiento pertinente como aguas residuales. El mercurio residual contenido en el producto cáustico puede ser típicamente bajo. Por ejemplo, en Estados Unidos los productos cáusticos suelen reportar niveles de alrededor de 0.06 ppm (US EPA, 2002b). Aproximadamente 2.26 toneladas métricas de 50% de sosa cáustica se producen por cada tonelada de cloro producido (Eurochlor, 1998). El gas cloro que resulta como producto suele tener niveles inferiores a 0.03 ppm.

686. Aunque el mercurio se libera como contaminante en los productos, los niveles parecen ser bajos en Estados Unidos a partir de los datos disponibles (US EPA, 1997b). Sin embargo, los niveles en estos productos podrían ser más altos en otros países si no se emplean etapas similares de purificación y limpieza. Es posible calcular la cantidad de mercurio perdido en estos productos multiplicando la cantidad de producto producido por la concentración calculada de mercurio en el producto.

687. **Aguas residuales.** Las plantas de cloroálcali con celda de mercurio generan diversas corrientes de desechos líquidos que contienen mercurio y suelen tratarse dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales. Estos desechos líquidos se originan en diversas fuentes, ya sea aguas residuales producto de enjuagues y operaciones de limpieza en el cuarto de celdas o bien líquidos o escurrimientos por el proceso de purgado de salmuera y agua de retrolavado del equipo de filtración utilizado en la purificación cáustica (US EPA, 2002b). En Estados Unidos, por citar un ejemplo, la mayoría de las plantas aplica un proceso que convierte el mercurio contenido en los desechos en sulfuro mercúrico, sustancia con muy baja presión de vapor. El sulfuro mercúrico se retira de las aguas residuales a través de precipitación y filtración. El resultado final es un lodo predominantemente formado por sólidos depositados de sulfuro en el filtro. En Estados Unidos este lodo debe tratarse de conformidad con las regulaciones de desechos peligrosos que minimizan las liberaciones. Si determinada planta no aplica un proceso efectivo de tratamiento de aguas residuales y lodos, las liberaciones de mercurio a través de las aguas residuales podrían ser significativas.

688. **Retortas.** En Estados Unidos hay tres unidades de recuperación de mercurio que usa hornos de retorta. La unidad con mejor desempeño trata los gases de salida con un depurador húmedo y un condensador, seguidos por un adsorbedor de carbono. A partir de 134 pruebas realizadas en dicha instalación para medir los niveles de mercurio en los gases de emisión final, los tres valores más altos

fueron 20.4, 22.1 y 26.4 mg/m<sup>3</sup> (US EPA, 2002b). Dos plantas estadounidenses usan hornos rotativos de retorta. Los datos de una de ellas muestran concentraciones de mercurio en emisiones atmosféricas en el rango de 1.4 mg/m<sup>3</sup> a 6.0 mg/m<sup>3</sup>, con un promedio de 2.8 mg/m<sup>3</sup> de dichas retortas. Una planta estadounidense usa un fogón de retorta. Las concentraciones están en el rango de 0.2 a 10.8 mg/m<sup>3</sup>, con una media de 1.6 mg/m<sup>3</sup> (US EPA, 2002b).

*Tabla 5-87 Generalidades sobre los procesos, equipos o actividades en plantas de cloroálcali donde pueden registrarse liberaciones significativas de mercurio y posibles medios receptores*

Fuente de liberación (proceso, equipo o actividad) *1	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desechos específicos por fuente
Corriente de hidrógeno	X	x		x	X
Aire de ventilación de la caja de conexión	X				X
Aire de ventilación del cuarto de celdas	X				X
Liberaciones fugitivas, particularmente del cuarto de celdas	X		x		X
Unidad de recuperación de mercurio	X				X
Aguas residuales (de la limpieza del cuarto de celdas, sistema de salmuera, purificación cáustica y otras actividades)	X		x		X
Desechos sólidos y lodos del tratamiento de aguas de desecho	X		X	X	X
Gas cloro, NaOH, KOH productos vendidos				X	

Notas: \*1 La cantidad y el tipo de liberaciones en cada uno de estos procesos, equipos o actividades depende del grado de controles aplicados, los métodos de tratamiento de desechos, las prácticas de manejo y otros factores;  
 X - Vía de liberación que se espera tenga el potencial de ser significativa;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.4.1.3 Discusión de las entradas de mercurio

*Tabla 5-88 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la producción de cloroálcali con tecnología de mercurio*

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Cantidad de cloro (o NaOH) producido (por ejemplo, toneladas métricas de Cl <sub>2</sub> ).	Cantidad de entrada de mercurio por unidad de cloro (o NaOH) producido (g de Hg por tonelada métrica de Cl <sub>2</sub> ).

689. Esta industria consume grandes cantidades de mercurio como materia prima de entrada. Por ejemplo, el consumo anual en Estados Unidos en 1996 fue de alrededor de 136 toneladas métricas de mercurio en 14 plantas. El consumo (entrada) mundial de mercurio en esta industria se ha calculado en aproximadamente 1344 toneladas métricas para el año 1996 (Sznoppek y Goonan, 2000, citado en PNUMA, 2002). Es común que muchas toneladas de mercurio estén en uso continuo en estas instalaciones. Durante 2002, 39 fábricas de Europa Occidental reportaron a OSPAR un consumo de mercurio que alcanzaba el total de 109 toneladas. Nueve fábricas estadounidenses reportaron un consumo total de 30 toneladas ese mismo año. Sin embargo, estas fábricas han dedicado muchos años a la aplicación de programas de administración de mercurio. Es posible que las fábricas de otros países experimente un consumo más alto adaptado a su capacidad (Anscomb, 2004)

690. La cantidad de entrada de mercurio usada por unidad de producto (gas cloro o  $\text{Cl}_2$ ) producido varía considerablemente de una planta de cloroálcali a otra. Por lo general, la entrada de mercurio se expresa en gramos por tonelada métrica de  $\text{Cl}_2$  (g de Hg/tonelada métrica de  $\text{Cl}_2$ ), o gramos de mercurio por tonelada métrica de solución cáustica (g de Hg/tonelada métrica de solución cáustica; puede usarse el siguiente factor para la conversión entre una base  $\text{Cl}_2$  y una base cáustica: Hg usado por tonelada métrica de solución cáustica producida = [g de Hg/tonelada métrica de NaOH] = [g de Hg/tonelada métrica de  $\text{Cl}_2$ ]/**1.128**]; basado en Comisión Europea, 2001b, p.7). Esta entrada de mercurio es necesaria para reemplazar la cantidad de mercurio “perdido” por unidad de  $\text{Cl}_2$  producida. Por lo tanto, esta entrada también puede considerarse como g de mercurio perdido por  $\text{Cl}_2$  producido. Las instalaciones con desempeño óptimo, tecnología de punta para la producción y prácticas laborales de categoría internacional usan alrededor de 6 gramos de mercurio elemental como entrada por tonelada métrica de cloro producido (6 g de Hg/tonelada métrica de  $\text{Cl}_2$ ). Las instalaciones que disponen de tecnologías productivas menos efectivas y prácticas menos eficaces consumen más mercurio por tonelada métrica de cloro producido. Por ejemplo, las instalaciones de la India usaron un promedio aproximado de 125 g de Hg/tonelada métrica de  $\text{Cl}_2$  en 1999 (Srivastava, 2003). Durante 2002, se reportó que la cifra había caído a alrededor de 80g de Hg/tonelada métrica de  $\text{Cl}_2$ , una tasa de consumo similar a la registrada en fábricas estadounidenses a mediados de la década de 1990, antes de adoptar medidas de administración de mercurio más sofisticadas (medidas que han logrado una reducción superior a 70% del consumo de mercurio, registrando aproximadamente 22 g de Hg/tonelada métrica de  $\text{Cl}_2$  en 2002). Para ampliar la perspectiva, cabe mencionar que dos fábricas rusas reportaron consumos de 250 y 580 gramos de mercurio por tonelada métrica de producto de salida (Treger en Lassen *et al.*, 2004), una tasa de consumo no distinta de la reportada por fábricas de Europa Occidental, Estados Unidos y Canadá antes de 1970 (Anscomb, 2004).

691. En 1990, las entradas promedio en instalaciones estadounidenses fueron de alrededor de 75 g de Hg/tonelada métrica de  $\text{Cl}_2$ . Sin embargo, después de una década de esfuerzos sustanciales para reducir liberaciones (básicamente concentrados en las buenas prácticas para controlar las emisiones fugitivas en el lugar de trabajo), las instalaciones estadounidenses actualmente usan un promedio de alrededor de 18 g de Hg/tonelada métrica  $\text{Cl}_2$ .

692. La tasa de actividad (o cantidad de cloro producido por año) también varía de una planta de cloroálcali a otra. Por ejemplo, en Estados Unidos, en 1997, de las 12 plantas funcionando, la tasa de actividad más alta fue de 234,056 toneladas métricas de cloro por año, y la más baja fue de 43,110 toneladas métricas de cloro al año, con un promedio anual de 121,615 toneladas métricas.

#### 5.4.1.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

693. Como se dijo antes, la cantidad de mercurio liberada a cada vía depende del tipo de tecnología en uso, el alcance de las prácticas de manejo para limitar y prevenir liberaciones, y otros factores. Las salidas más significativas de mercurio consumido tal vez se encuentren en las acumulaciones en las fábricas, los desechos sólidos y las emisiones atmosféricas, todas ellas difíciles de cuantificar. A partir de las experiencias en Estados Unidos y Europa Occidental antes de 1970, en algunas fábricas, el mercurio podría perderse en cantidades significativas llegando al agua y los productos (Anscomb, 2004).

694. Los datos sobre las salidas de mercurio en plantas de cloroálcali en Francia indican que entre 3 y 14% de las entradas de mercurio son liberadas al aire, entre 16 y 90% se libera a través de desechos sólidos (u otros tipos de desechos semisólidos, como lodos), entre 10 y 70% de las pérdidas se consideran internas (liberaciones no contabilizadas en otras vías de emisión) y menos de 2% se libera a las vías restantes (descargas de agua, tierra y productos) (OSPAR, 2002).

695. A partir de los datos reportados al Inventario de Liberaciones Tóxicas de la US EPA (TRI) para el año 2001 (que aparentemente no incluye pérdidas internas), alrededor de 26 a 67% de las liberaciones cuantificadas en informes constituye emisiones atmosféricas, entre 32 y 73% se emite a través de desechos y menos de 2% va al agua y la tierra (US EPA, 2003d). Si se incluyeran las

pérdidas internas, estos porcentajes serían menores. En todo caso, los datos del TRI aportan información útil sobre la magnitud relativa de las liberaciones a los medios seleccionados.

696. En Estados Unidos se han calculado emisiones atmosféricas aproximadas a partir de datos de prueba en chimeneas para las corrientes de hidrógeno y rejillas de ventilación en la caja de conexión en 10 plantas. Los valores están en el rango de 0.067 gramos de mercurio por tonelada métrica de cloro producido (0.067 g de Hg/toneladas métricas de Cl<sub>2</sub>) a 3.41 g de Hg/toneladas métricas de Cl<sub>2</sub>. El promedio de las cinco plantas con mejor desempeño fue de 0.14 g de Hg/toneladas métricas de Cl<sub>2</sub>. Además, dos plantas estadounidenses no disponen de sistema de ventilación en la caja de conexión; en ambos casos se realizaron pruebas sobre la corriente de hidrógeno. Los valores fueron 0.033 g de Hg/toneladas métricas de Cl<sub>2</sub> y 0.17 g de Hg/toneladas métricas de Cl<sub>2</sub>, con un promedio de 0.1 g de Hg/toneladas métricas de Cl<sub>2</sub>. La US EPA tiene factores de emisión para rejillas de ventilación de celdas de hidrógeno y cajas de conexión. Estos factores pueden ser útiles para calcular emisiones provenientes de algunas fuentes; sin embargo, se basan en pruebas realizadas en sólo dos plantas y que datan de 1973, por lo que enfrentan serias limitaciones (más detalles en US EPA, 1997a). Nuevos estudios realizados en Estados Unidos indican que las liberaciones atmosféricas de mercurio medidas dependen mucho del lugar en que se toman las muestras de aire dentro de los cuartos de celdas.

697. Los factores de emisión relativamente bajos reportados en años recientes (por ejemplo en la UE y EE.UU.) no se consideran aplicables a gran escala (regional o mundial), ya que las instalaciones de otros países/regiones liberan más mercurio por tonelada métrica de cloruro producido (o toneladas métricas de hidróxido de sodio producido) que la típica instalación estadounidense o comunitaria (PNUMA, 2002).

698. Treger reporta en (Lassen *et al.*, 2004) los balances de mercurio para las cuatro instalaciones de cloroálcali con celda de mercurio que quedaban en Rusia en 2002, véase la tabla 5-89.

Tabla 5-89 Balances de mercurio para instalaciones de cloroálcali con celda de mercurio en la Federación Rusa en 2002 (Treger en Lassen *et al.*, 2004)

Planta	Consumo de mercurio, g/tonelada métrica con capacidad Cl	Mercurio comprado, toneladas métricas *1	Emisiones atmosféricas, toneladas métricas	Descargadas a masas de agua, toneladas métricas	Cantidades no contabilizadas, toneladas métricas	Depositadas en rellenos sanitarios, toneladas métricas	Pérdidas con productos, toneladas métricas
1	251	15.1	0.15	0.0001	0.015	14.9	0.03
2	52	7.3	0.39	0.0008*	4.5	1.4	0.08
3	42	10.0	0.44	0.0001	4.2	0.007	0.02
4	582	70.8	0.24	No data	47.6	22.9	0.08
Total	-	103.2	1.22	>0.001	56.3	39.3	0.22

Notas: \* Al sistema de fluidos (estanques-evaporadores);

\*1 Las cantidades de mercurio comprado pueden diferir del consumo en el mismo año debido a cambios en las reservas internas de mercurio.

699. En la tabla 5-90, los mismos datos para Rusia se convierten a la distribución relativa de salidas.

Tabla 5-90 Instalaciones rusas de cloroálcali en 2002, salidas totales y distribución de las salidas en porciones de salidas reportadas (con base en Treger en Lassen et al., 2004)

Planta	Suma de salidas + cantidades no contabilizadas, toneladas métricas de Hg	Al aire, porción	Al agua, porción	A los productos, porción	A los rellenos sanitarios, porción	Cantidades no contabilizadas, porción
1	15	0.01	0.000007	0.002	0.99	0.001
2	6	0.06	0.0001	0.01	0.22	0.71
3	5	0.09	0.00002	0.004	0.001	0.90
4	71	0.003	Sin datos	0.001	0.32	0.67
Total	97	0.013	0.00001	0.002	0.40	0.58

700. Los datos sobre las instalaciones con celda de mercurio que han cerrado en Rusia en las décadas de 1980 y 1990 indican que las cantidades de mercurio en el suelo de las instalaciones podrían ser significativas (Treger en Lassen *et al.*, 2004). Los derrames, el manejo de pérdidas y el almacenamiento de desechos de mercurio *in situ* explican esa situación.

701. La limpieza de plantas de cloroálcali en Estados Unidos que han cerrado o siguen funcionando puede representar desafíos importantes, como la generación de agua subterránea, agua superficial, suelos y sedimentos contaminados con mercurio, detrito y almacenes de mercurio elemental (véase <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/mercury/cleanup.htm>; Southworth *et al.* (2004); Kinsey *et al.* (2004); Kinsey *et al.* (2004); todos citados en reseñas de NRDC, 2005).

702. **Pérdidas generales de mercurio.** Hay pérdidas de mercurio aunque se disponga de sistemas de recuperación y buenos sistemas de control de emisiones. Es necesario añadir mercurio periódicamente al proceso para reponer dichas pérdidas. Las liberaciones reportadas al aire, el agua, los desechos y los productos rara vez incluyen la totalidad de la entrada de mercurio al proceso de celda; a veces, se reporta un balance “no contabilizado” para reflejar la situación. Algunas salidas de mercurio son relativamente dóciles al proceso de medición (descarga al agua, productos, emisiones atmosféricas desde chimenea). Otros aproximados de salidas de mercurio no son tan fácilmente medibles o cuantificables (el grueso del mercurio que se adhiere a los detritos metálicos, contenido en los desechos sólidos, las emisiones atmosféricas fugitivas y la acumulación de mercurio dentro de las fábricas). Dadas las incertidumbres relativas a la medición de algunas salidas, una posibilidad para evaluar el desempeño general de una fábrica es el indicador de rendimiento del consumo de mercurio por tonelada métrica de producto. Se trata de una medida integral que incluye todas las formas en que el mercurio puede consumirse durante el proceso de producción. Es relativamente fiable, a partir de los datos económicos simples sobre reposición de mercurio para compensar el mercurio consumido durante la producción. El enlace entre el consumo de mercurio y la tonelada métrica de salida permite la comparación directa entre fábricas de un país y entre países, ya que se ajusta a las diferencias de tamaño de las fábricas (Anscomb, 2004). En algunos casos no será posible realizar una evaluación de tan alta calidad, pero se podrá obtener indicios de, por ejemplo, emisiones fugitivas a través de las mediciones llevadas a cabo con monitores manuales de mercurio.

#### 5.4.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

703. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas, y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente instrumental se

fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos. Asimismo, los factores por defecto reflejan criterios expertos basados únicamente en datos sintetizados y, hasta ahora, no se ha aplicado ningún enfoque cuantitativo sistemático (es decir, concentración ponderada por consumo y derivación de factores de distribución) en el desarrollo de los factores.

704. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

705. Los factores de entrada adecuados para calcular liberaciones variarán en función de los dispositivos de control en uso, las técnicas de prevención de contaminación y las prácticas de manejo empleadas. Se prefieren los datos y la información directos y específicos. Habrá de aprovecharse toda la información disponible sobre la planta en evaluación a fin de determinar cuáles son los factores de entrada más adecuados.

706. Si no se dispone de información sobre el consumo de mercurio por capacidad de producción, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-91 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto).

Tabla 5-91 Factores preliminares de entrada por defecto para calcular liberaciones provenientes de la producción de cloroálcali

Proceso	Factores de entrada por defecto; g de mercurio por tonelada métrica de cloruro producido; (mínimo - máximo) *1
Producción de cloroálcali con celdas de mercurio	25 - 400

Notas: 1\* El intervalo se definió como un intento por señalar la magnitud posible de entradas de mercurio a las instalaciones de cloroálcali con celdas de mercurio en casos en los que se carece de información sobre las características reales de la administración de mercurio. Las entradas de mercurio inferiores a 25 g de Hg/tonelada métrica de cloruro producido deberían caracterizarse como una administración excelente de mercurio desde una perspectiva internacional, mientras que se han reportado entradas superiores a los 400 g de Hg/tonelada métrica de Cl<sub>2</sub> (582 g/tonelada métrica) para el año 2002 y podrían ocurrir en otras partes del mundo. Las entradas de mercurio también pueden expresarse en gramos de mercurio por tonelada métrica de sosa cáustica (g de Hg/tonelada métrica de sosa cáustica); puede usarse el siguiente factor para la conversión entre una base Cl<sub>2</sub> y una base de sosa cáustica: Hg usado por tonelada métrica de sosa cáustica producida = [g de Hg/tonelada métrica de NaOH] = [g de Hg/tonelada métrica de Cl<sub>2</sub>]/1.128]; basado en Comisión Europea, 2001b, p.7).

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

707. Los factores de distribución adecuados para calcular liberaciones variarán en función de los dispositivos de control en uso, las técnicas de prevención de contaminación y las prácticas de manejo

empleadas. Se prefieren los datos y la información directos y específicos. Habrá de aprovecharse toda la información disponible sobre la planta en evaluación a fin de determinar cuáles son los factores de distribución más adecuados. Debe destacarse que las cantidades de mercurio “no contabilizadas” pueden ser considerables y, en algunos casos, podría incluso tratarse de liberaciones no cuantificadas de otro modo. Por lo tanto, la cuestión en torno a si dichas cantidades son recicladas o liberadas reviste importancia crucial en el inventario. Es por ello que se presentan dos escenarios opcionales de salida: en el escenario superior, las cantidades de mercurio no contabilizadas se reportan junto con las salidas de mercurio reciclado o tratado en alguna forma. En el escenario inferior, las cantidades no contabilizadas aparecen como si hubiesen sido liberadas a través de las vías de emisión mencionadas. Debido a la incertidumbre y variedad de las condiciones de producción, este escenario de salidas aparece como una opción para presentar posibles salidas de mercurio. El principal objetivo del escenario es señalar posibles liberaciones y no pretende ser preciso en forma alguna. La decisión respecto a la presentación de estos datos compete únicamente al equipo de desarrollo de inventarios.

708. Si no se dispone de datos específicos y otras información significativa para calcular la distribución de liberaciones a diversos medios en el caso de la planta, puede recurrirse a los factores de distribución por defecto sugeridos a continuación para hacer dichos cálculos; en ese caso, habrá de añadirse una nota en el informe del inventario señalando que las liberaciones reales bien podrían ser mayores.

Tabla 5-92 Factores preliminares de distribución por defecto en las salidas de mercurio a partir de las instalaciones de producción de cloroálcali con celda de mercurio

Etapas del ciclo de vida	Factores de distribución, porción de las entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra *1	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción de cloro y NaOH/KOH con proceso de celda de mercurio *2	0.1	0.01	0.01	0.01	?	0.87
Celda de mercurio para prod. de Cl/NaOH/KOH – si no se explica, considerar liberación *3	0.2	0.02	0.38	0.1	?	0.3

Notas: \*1 Es posible que las liberaciones de mercurio a la tierra sean significativas y tal vez el mercurio no explicado sea en realidad liberaciones a la tierra debajo de las instalaciones de celda de mercurio. En general, estas liberaciones no se cuantifican, pero deben representarse como liberaciones no contabilizadas;

\*2 Las liberaciones de mercurio específicas por sector pueden ser reciclaje o vertido de mercurio *in situ* o en otro lugar. El almacenaje o vertido *in situ* o en otro lugar debe considerarse como liberaciones directas a la tierra. En este escenario las cantidades de mercurio “no contabilizadas” también se designan a esta categoría a fin de permitir la compatibilidad con otras categorías de fuente en la presentación de informes generales sobre los resultados del inventario; debe destacarse que las cantidades de mercurio “no contabilizadas” pueden ser considerables y, en algunos casos, podría incluso tratarse de liberaciones no cuantificadas de otro modo. Por lo tanto, la cuestión en torno a si dichas cantidades son recicladas o liberadas reviste importancia crucial en el inventario.

\*3 En este escenario, las cantidades de mercurio no contabilizadas se presentan como si hubiesen sido liberadas por las vías citadas. Debido a la incertidumbre y variedad de las condiciones de producción, este escenario de salidas aparece como una opción para presentar posibles salidas de mercurio. El principal objetivo del escenario es señalar posibles liberaciones y no pretende ser preciso en forma alguna. La decisión respecto a la presentación de estos datos compete únicamente al equipo de desarrollo de inventarios.



**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

709. No se sugieren enlaces.

**5.4.1.6 Datos principales por fuente**

710. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos reales sobre la cantidad de mercurio usado cada año en la instalación. La cifra puede buscarse en registros sobre cantidades de mercurio compradas y/o ingresadas al proceso durante el año;
- Datos sobre la cantidad de cloruro y/o sosa cáustica producida cada año en la instalación (toneladas métricas de Cl<sub>2</sub> por año);
- Información sobre tipos de equipos de control usados y el alcance de las prácticas para prevenir la contaminación;
- Datos medidos sobre equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares);
- Datos de prueba de emisiones reales en chimenea, mediciones de g de mercurio liberados por toneladas métrica de cloruro producido en varios puntos de emisión (corriente de hidrógeno, rejilla de ventilación en la caja de conexión, rejilla de ventilación del cuarto de celdas, etc.).

711. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

**5.4.1.7 Resumen del enfoque general para el cálculo de liberaciones**

712. Es posible usar los factores de entrada ya descritos con los factores de distribución para calcular las liberaciones de mercurio a cada uno de los medios (aire, agua, tierra, desechos, productos y tratamiento específico/disposición/emisiones no registradas) y liberaciones totales. Por ejemplo, es posible calcular el promedio calculado del total de liberaciones (a todos los medios/vías) por parte de una instalación en Estados Unidos multiplicando la tasa promedio de actividad (es decir, 121,615 toneladas métricas de Cl<sub>2</sub>) por el factor mínimo de entrada (25 g de Hg/tonelada métrica de Cl<sub>2</sub>). Así se obtiene un cálculo promedio del total de las liberaciones de mercurio para 3 toneladas métricas de Hg por año en el caso de las liberaciones “mínimas” a todas las vías (pérdidas no contabilizadas incluidas). Sin embargo, calcular liberaciones totales precisas para cada planta en Estados Unidos y otros países exige conocimientos acerca de la tasa de actividad de cada una de las instalaciones y, todavía más importante, un factor de entrada representativo (en g de Hg por tonelada métrica de Cl producido). Además, calcular las liberaciones a cada medio constituye un desafío adicional debido a la variabilidad e incertidumbre acerca de la distribución de liberaciones entre las diversas vías posibles (aire, desechos específicos por sector, agua, tierra, productos y pérdidas internas).

713. Los datos y/o cifras aproximadas de la liberación de mercurio suelen expresarse en g de Hg/toneladas métricas de Cl<sub>2</sub>. Por lo tanto, para calcular las liberaciones anuales de mercurio (para toda la planta) se multiplican los g de Hg/toneladas métricas de Cl<sub>2</sub> por el total de toneladas métricas de cloruro producidas cada año siguiendo la siguiente ecuación:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{g de Hg/toneladas} & & * & \text{toneladas métricas de} & = & \text{g de mercurio liberado por} \\ \text{métricas de Cl}_2 & & & \text{Cl}_2/\text{año} & & \text{año.} \end{array}$$

Después, puede procederse a aplicar los factores de distribución de salidas a fin de calcular las liberaciones a cada medio.

## 5.4.2 Producción de VCM (monómeros de cloruro de vinilo) con bicloruro de mercurio (HgCl<sub>2</sub>) como catalizador

### 5.4.2.1 Descripción de la subcategoría

714. Existen dos procesos para la manufactura de cloruro de vinilo: el proceso con acetileno usa cloruro mercúrico sobre pelotillas de carbono como catalizador; el segundo proceso se basa en la oxiclорación del etileno (sin uso de mercurio). En Estados Unidos hay una instalación que aplica el proceso de cloruro mercúrico (US EPA, 1997a). Sin embargo, no se encontró información sobre medidas específicas de control para las emisiones de mercurio resultantes de la producción de cloruro de vinilo. Además, no se encontraron factores de emisión ni datos de prueba.

715. En la Federación Rusa hay cuatro empresas que usan bicloruro de mercurio. A continuación se presentan las entradas totales y el balance de salidas.

### 5.4.2.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-93 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la producción de VCM con bicloruro de mercurio como catalizador

Etapas del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector
Producción de VCM	x	x				X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.4.2.3 Discusión de las entradas y las liberaciones de mercurio

Tabla 5-94 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la producción de VCM con bicloruro de mercurio como catalizador

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción anual de VCM	Consumo de mercurio (en catalizador) por unidad de VCM producido

716. Lassen *et al.* (2004) calcularon el balance de masa total de la producción de VCM con catalizadores de mercurio en la Federación Rusa en 2002. La tabla 5-95 presenta una síntesis de dichos datos.

Tabla 5-95 Balance de masa estimado para la producción de VCM con catalizadores de mercurio en la Federación Rusa en 2002 (Lassen et al., 2004)

<b>Entradas</b>	
Consumo anual de Hg con catalizador, toneladas métricas/año	16
Producción anual de VCM, toneladas métricas/año	130,000
Entrada estimada de g de Hg por tonelada métrica de VCM producido, promedio, redondeado	100-140
<b>Distribución de salidas</b>	
<b>Porción</b>	
Catalizador usado para reciclaje externo	0.62
Ácido HCl de grado bajo vendido	0.37
Liberaciones directas al aire	0.003
Liberaciones directas a las aguas residuales	0.003

717. Una decisión del Convenio OSPAR que data de 1985 (Decisión 85/1) define los umbrales recomendados para las liberaciones de mercurio al medio acuático a partir de la producción de VCM con catalizadores de mercurio en 0.05 mg de Hg/l de efluente y 0.1 g de Hg/capacidad de producción de VCM en toneladas métricas. Estos valores podrían indicar el orden de magnitud de las liberaciones de mercurio al agua en este sector alrededor de 1985 en el contexto de Europa Occidental y corresponden a los niveles presentados para la producción de VCM en Rusia en 2002.

#### 5.4.2.4 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

718. A partir de la información aquí presentada sobre las entradas y salidas registradas en Rusia, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que estos factores por defecto se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación.

719. El principal objetivo del uso de estos factores por defecto es obtener una impresión inicial y determinar si la subcategoría representa una fuente de liberación de mercurio significativa en el país. Por lo general, será necesario afinar los cálculos de las liberaciones (obtenidos con factores por defecto) antes de adoptar cualquier medida trascendental a partir de este tipo de datos.

##### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

720. Los datos reales sobre el consumo de mercurio con catalizador en la producción de VCM en instalaciones específicas arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en los concentrados usados durante la etapa de extracción, puede llegarse a un estimado inicial con los factores de entrada por defecto que muestra la tabla 5-96 (con base en los datos sobre Rusia presentados en esta sección).

Tabla 5-96 Factores preliminares de entrada por defecto para el mercurio en catalizadores para la producción de VCM

<b>Material</b>	<b>Factores de entrada por defecto; g de mercurio usados por tonelada métrica de VCM producido;</b>
consumo de Hg en catalizador para la producción de VCM	100 – 140

**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

Tabla 5-97 Factores preliminares de distribución por defecto en las salidas de mercurio sugeridos para la producción de VCM con catalizador de mercurio \*1

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra *4	Productos *3	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector *2
Porción de la totalidad de entrada de mercurio a la producción de VCM	0.02	0.02	?	0.36		0.60

Notas: \*1 Basado únicamente en datos de la Federación Rusa, puede haber incertidumbres sustanciales;

\*2 En Rusia es reciclaje externo del catalizador;

\*3 En forma de ácido HCl de grado técnico bajo, venta restringida a propósitos específicos;

\*4 No es posible descartar las liberaciones a la tierra a partir del almacenaje y el manejo *in situ*.

**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

721. No se sugieren enlaces.

**5.4.2.5 Datos principales por fuente**

722. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Consumo anual de catalizador con mercurio y concentración de mercurio en el catalizador, y
- Datos medidos sobre la distribución entre todas las vías de liberación, preferentemente basados en un enfoque de balance de masa.

**5.4.3 Producción de acetaldehídos con sulfato de mercurio (HgSO<sub>4</sub>) como catalizador****5.4.3.1 Descripción de la subcategoría**

723. Es posible usar sulfato de mercurio en la producción de acetaldehído, aunque existen procesos alternativos sin mercurio. A principios del siglo XX se usaba mercurio para la producción de acetaldehídos en Estados Unidos y otros países. Este proceso ya no se usa en Estados Unidos y tal vez tampoco en muchos otros países. Sin embargo, todavía no se tiene información (durante la redacción de este informe preliminar) sobre el uso de mercurio en la producción de acetaldehídos en otros países.

724. La etapa líquida de oxidación del etileno por medio de una solución catalítica de cloruros de paladio y cobre se usó comercialmente por vez primera en Estados Unidos en 1960 y más de 80% de la producción mundial de acetaldehídos en años recientes ha seguido ese proceso. El resto se produce mediante la oxidación del etanol y la hidratación del acetileno. Existe un número limitado de empresas que producen acetaldehídos alrededor del mundo. La producción total de acetaldehídos en Estados Unidos en 1982 llegó a las 281 mil toneladas métricas. La producción total de acetaldehídos en Europa Occidental en 1982 fue de 706 mil toneladas métricas y se calculó que la capacidad de producción alcanzaba aproximadamente un millón de toneladas métricas. La producción calculada en Japón en 1981 fue de 323 mil toneladas métricas (Hagemeyer, 1978; IARC, 1985, citado en OMS, 1995).

725. Triste ejemplo de las posibles liberaciones de mercurio en este tipo de instalaciones fue la tragedia de contaminación por mercurio registrada en las décadas de 1950 y 1960 en la Bahía de Minamata, Japón. Una planta de productos químicos llevaba veinte años produciendo acetaldehído, usado en la manufactura de plásticos, medicamentos y perfumes. Como parte de sus operaciones de rutina, la planta vertía productos de desecho, incluidas grandes cantidades de mercurio, a la Bahía de Minamata. Muchas personas murieron o sufrieron discapacidades permanentes como consecuencia de

la contaminación. En 1968 la planta dejó de usar mercurio en el proceso de producción y dejó de verter desechos a la bahía. En la actualidad, las instalaciones están dedicadas a la producción de cristales líquidos, preservativos, fertilizantes y otros productos químicos con tecnologías inocuas para el medio ambiente.

726. Otro incidente ocurrió en Kazakastán, donde la liberación accidental de mercurio en una planta de acetaldehídos en la región de Karaganda, en la zona central del país, provocó la grave contaminación de los alrededores, particularmente del Río Nura (referencia: Manejo de la contaminación por mercurio en el Río Nura, investigación en la Universidad de Southhampton, Reino Unido, disponible en: <http://www.soton.ac.uk/~env/research/pollution/> ).

#### 5.4.4 Otras formas de producción de químicos y polímeros con compuestos de mercurio como catalizadores

##### 5.4.4.1 Descripción de la subcategoría

727. Puede haber liberaciones de mercurio a partir de la producción de poliuretano. Antes, los catalizadores usados en Estados Unidos para la producción de poliuretano estaban conformados por compuestos fenilmercúricos, pero hoy en día pocas instalaciones usan ese catalizador y ya no se producen compuestos fenilmercúricos en el país (US EPA, 1997a).

728. También es posible producir acetato de vinilo usando sales de mercurio como catalizador (referencia: ATSDR, perfil toxicológico del acetato de vinilo).

729. Lassen *et al.* (2004) reportan el uso de sulfato de mercurio (II) en la Federación Rusa como catalizador para la producción de los colores/(pigmentos) del cubo (1-amino antraceno), con un consumo anual de varias toneladas métricas de mercurio con catalizador hasta el año 2000.

##### 5.4.4.2 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

730. Una decisión del Convenio OSPAR que data de 1985 (Decisión 85/1) define los umbrales recomendados para las liberaciones de mercurio al medio acuático en relación con una selección de actividades propias de la industria química que implican el manejo de mercurio. La tabla 5-98 presenta una síntesis de dichos umbrales. Estos valores podrían indicar el orden de magnitud de las liberaciones de mercurio al agua a partir de estas aplicaciones de mercurio alrededor de 1985 en el contexto de Europa Occidental. Cabe destacar que la producción de VCM se describe detalladamente en la sección 5.4.2 y aquí sólo aparece para efectos de comparación.

Tabla 5-98 Recomendaciones OSPAR respecto a valores umbral para las liberaciones acuáticas de mercurio en procesos seleccionados de producción de químicos ([www.ospar.org](http://www.ospar.org), 2004)

Actividad	Valores umbral para las liberaciones de mercurio
Producción de VCM con catalizadores de Hg	0.05 mg Hg/l efluente; 0.1 g Hg/capacidad de producción de VCM en toneladas
Producción de otros químicos con catalizadores de Hg	0.05 mg Hg/l efluente; 5 g Hg/kg Hg usado
Producción de catalizadores de Hg para la síntesis de VCM	0.05 mg Hg/l efluente; 0.7 g Hg/kg Hg procesado
Manufactura de otros compuestos orgánicos e inorgánicos de Hg	0.05 mg Hg/l efluente; 0.05 g Hg/kg Hg procesado

## 5.5 Productos de consumo con uso deliberado de mercurio

Tabla 5-99 *Productos de consumo con uso deliberado de mercurio: subcategorías con principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/residuo	Principal enfoque para inventario
5.5.1	Termómetros con mercurio	X	X	X	X	X	EG
5.5.2	Interruptores eléctricos y electrónicos, contactos y relevadores con mercurio	X	x	X	X	X	EG
5.5.3	Fuentes de luz con mercurio	X	x	X	X	X	EG
5.5.4	Pilas que contienen mercurio	X	x	X	X	X	EG
5.5.5	Biocidas y pesticidas	X	X	X	X	X	EG
5.5.6	Pinturas	X	x	x	X	x	EG
5.5.7	Productos farmacéuticos de uso humano y veterinario	X	x	x	x	X	EG
5.5.8	Cosméticos y productos relacionados		X		X	x	EG

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.5.1 Termómetros con mercurio

#### 5.5.1.1 Descripción de la subcategoría

731. Los termómetros de mercurio se han usado tradicionalmente para la medición de rangos de temperatura en todo tipo de medios. Actualmente, están siendo sustituidos por termómetros electrónicos y de otros tipos, pero el ritmo de esa sustitución varía de un país a otro. Varios países europeos han prohibido el uso de termómetros y otros productos que contienen mercurio, como es el caso de Suecia, Dinamarca, los Países Bajos y Francia. En Estados Unidos se registran esfuerzos voluntarios entre las industrias y asociaciones para reducir la cantidad de mercurio en los termómetros usando sustitutos sin mercurio. Varios estados de ese país han prohibido el uso de termómetros de mercurio para medir la fiebre y la mayoría de las tiendas han descontinuado su venta (PNUMA, 2002).

732. Los principales usos restantes pueden encontrarse en los termómetros médicos (para tomar la temperatura corporal en hospitales, hogares, etc.), termómetros de temperatura ambiente, laboratorios químicos y controles de algunas máquinas (grandes motores de diesel) y equipos industriales. Los termómetros de mercurio pueden contener entre 0.6 y varios cientos de gramos/unidad, dependiendo de su uso (COWI, 2002 y US EPA, 1997a).

733. En la producción de termómetros de vidrio, lo común es que los tubos se llenen con mercurio en una sala aislada. Por lo general, el proceso de llenado con mercurio tienen lugar dentro de una campana de cristal. Se dispone cada serie de tubos boca abajo en el interior de una charola y ésta se coloca debajo de la campana de cristal. La campana desciende y es sellada sobre la charola. Se deja que el mercurio fluya al interior de la charola, ya sea desde un sistema interno de agregación de mercurio o bien desde una reserva de llenado manual. Se usa un sistema de vacío para introducir el mercurio en los tubos. Después del llenado, la charola de tubos se retira manualmente de la campana de cristal. El exceso de mercurio en el fondo de la charola se purifica y se lleva nuevamente al sistema de agregación de mercurio o a la reserva de llenado. La referencia no identifica información específica

sobre la liberación de mercurio en este paso; sin embargo, es posible que se pierda cierta cantidad de vapor de mercurio a la atmósfera durante el proceso. El exceso de mercurio en el vástago de los tubos se extrae por los extremos abiertos calentando los extremos bulbosos de los tubos en baño maría o en baño de aceite. Los tubos se cortan a una altura inmediatamente superior a la columna de mercurio y se sellan los extremos. Estas operaciones se llevan a cabo manualmente en diversas estaciones de trabajo (Reisdorf y D'Orlando, 1984 y US EPA, 1984, citado en US EPA, 1997a).

### 5.5.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-100 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de los termómetros con mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción	X	X	x	X		x
Uso	X	X	x			
Disposición	X		X		X	x

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

734. Las liberaciones pueden ocurrir:

- 1) A partir de la producción de termómetros de mercurio (al aire, el agua y la tierra) dependiendo de lo cerrado de los sistemas de manufactura y de los procedimientos de manejo en el lugar de trabajo dentro de las unidades de producción individual;
- 2) Cuando los termómetros se rompen o pierden (al aire, el agua, la tierra) durante su uso, y
- 3) Durante la disposición de los termómetros después de su uso (directamente a la tierra o al relleno sanitario y, en consecuencia, posteriormente al agua y el aire), dependiendo en gran medida de los tipos y la eficacia de los procedimientos de recolección y manejo de desechos.

735. En algunos países se están recogiendo partes de los termómetros usados que contienen mercurio para el manejo seguro y posible reciclaje de este metal.

#### i) Producción

736. A partir de un análisis realizado por (2001), parece que la porción de entradas de mercurio que se libera durante la producción tiende a ser muy pequeña en Estados Unidos (Barr, 2001). Las emisiones de vapor a partir de la purificación y transferencia de mercurio suelen controlarse con procedimientos de contención, ventilación local de los escapes o aislamiento de esta operación en relación con otras áreas de trabajo. También puede modificarse el calibre de los tubos a fin de reducir el uso de mercurio. La principal fuente de emisiones de mercurio en la producción de termómetros puede encontrarse en el proceso de llenado (US EPA, 1997a).

737. No obstante, las emisiones de mercurio pueden ocurrir en diversas fuentes durante el proceso de producción de termómetros. Muchos de los procedimientos usados en la producción de termómetros se realizan en forma manual y, en consecuencia, las emisiones de estos procedimientos son más difíciles de controlar. Las fuentes potenciales de emisiones más importantes son la purificación y transferencia de mercurio, el llenado con mercurio y el proceso de calentamiento (quemado). Asimismo, pueden registrarse emisiones adicionales debido a los derrames de mercurio, la rotura de termómetros y otros accidentes durante el proceso de producción.

**ii) Uso**

738. Ya que los termómetros están sellados, las liberaciones de mercurio no ocurren durante su uso a menos que el cuerpo del termómetro se rompa o resquebraje. Es común que los termómetros se rompan durante su uso, tal como lo indica el porcentaje calculado de roturas en este capítulo. Esto puede elevar los niveles de mercurio ambiental en los hogares, implicando riesgos para las poblaciones vulnerables, como los niños pequeños (Carpi y Chen, 2001). Cuando un termómetro se rompe el mercurio se libera a diversos medios, incluido el aire (como vapor), la tierra y las aguas residuales. Los termómetros rotos pueden depositarse con otros desechos sólidos, pero en este caso se consideran bajo el rubro de disposición (ver siguiente inciso). La magnitud de las liberaciones a cada vía depende de los procedimientos de limpieza y otros factores.

**iii) Disposición**

739. Es posible que algunos termómetros que contienen mercurio sean reciclados y el metal se recupere para su posterior uso. Sin embargo, un gran porcentaje se deposita con los desechos sólidos municipales, los desechos médicos, los desechos peligrosos u otros tipos de métodos de disposición de desechos (cilindros para quema, vertido informal, aguas residuales, etc.) (Barr, 2001). La magnitud de aplicación de estos métodos de disposición probablemente varíe de un país a otro. En algunos países occidentales ha aumentado la cantidad de termómetros recolectados por separado y reciclado en años recientes.

**5.5.1.3 Discusión de las entradas de mercurio**

*Tabla 5-101 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de los termómetros con mercurio*

<b>Etapas del ciclo de vida</b>	<b>Datos necesarios de la tasa de actividad</b>	<b>Factor de entrada de mercurio</b>
Producción	Consumo total de mercurio para la producción de termómetros *1	Kg de mercurio liberado por kg de mercurio usado para la producción, o por kg de mercurio en termómetros producidos
Uso	Número de termómetros de mercurio consumidos al año, por tipo y sector	g de mercurio por termómetro suministrado, por tipo y sector
Disposición	Número de termómetros de mercurio consumidos al año, por tipo y sector	g de mercurio por termómetro suministrado, por tipo y sector

Notas: \*1 Si no se dispone del dato, podrá calcularse la cantidad total de mercurio usando los factores por defecto para el mercurio por cada tipo de termómetro.

**i) Producción**

740. En la mayoría de los países hay unos cuantos fabricantes de termómetros; en algunos países no se fabrican termómetros. De preferencia y siempre que sea posible, los datos sobre la cantidad de mercurio usado en la producción, el número de termómetros producidos y las liberaciones reales durante el proceso de producción habrán de obtenerse directamente de los fabricantes. En algunos casos, las estadísticas ambientales nacionales ofrecerán información sobre las liberaciones durante el proceso de producción.

741. En caso de que no sea posible obtener información específica, el número de termómetros producidos por año puede encontrarse en las estadísticas nacionales y la cantidad de mercurio empleada en la producción puede calcularse usando factores por defecto para el mercurio por termómetro. De haber información específica sobre el volumen de producción, pero carecer de cálculos de liberaciones, puede llegarse a un cálculo inicial por medio de los factores de distribución



por defecto. Véanse los ejemplos de contenido de mercurio por unidad y los factores de distribución a continuación.

## ii) Uso

742. Las liberaciones de mercurio debidas a rompimientos y pérdidas durante el uso de los termómetros pueden calcularse a partir del consumo nacional de mercurio con termómetros y la fracción calculada de termómetros usados que se rompe o pierde durante su uso. El número de termómetros de mercurio en uso refleja el contenido de mercurio y la cifra de consumo de años previos (algunos o muchos años de vida útil, dependiendo del tipo y uso). Si no se dispone de datos históricos, pueden aplicarse cifras de entrada del consumo actual combinadas con juicios expertos sobre las tendencias de suministro para obtener una aproximación inicial.

743. Es posible obtener cifras de consumo de termómetros contactando directamente a los principales proveedores (fabricantes incluidos) o a partir de estadísticas de comercio nacional. Es preferible dividir el consumo de termómetros por sector: sector de los hospitales, viviendas e industria/laboratorios. Esto puede resultar imposible si sólo se cuenta con estadísticas de comercio nacional, pues exige la obtención de datos específicos por medio de proveedores.

## iii) Disposición

744. El mercurio que llega a la etapa de disposición es el contenido en los termómetros tal como se venden, multiplicado por las cifras de consumo nacional para cada caso. Cabe destacar que la disposición de mercurio con los termómetros refleja el contenido de mercurio de años previos (algunos o muchos años de vida útil, dependiendo del tipo y uso). Lo anterior es importante porque es posible que las concentraciones de mercurio en los termómetros hayan disminuido en muchos países. Si no se dispone de datos históricos, pueden aplicarse cifras de entrada del consumo actual combinadas con juicios expertos sobre las tendencias de suministro para obtener una aproximación inicial. Es preferible dividir el consumo de termómetros por sector: sector de los hospitales, viviendas e industria/laboratorios, ya que los sistemas de disposición suelen ser distintos para cada uno de ellos.

745. La tabla 5-102 presenta ejemplos de contenidos de mercurio por tipo de termómetro. En la actualidad, los termómetros médicos contienen de 0.25 a 1.85 g de mercurio por unidad dependiendo del tipo, país y región. Hay una tendencia a usar menos mercurio por termómetro y los termómetros desechados pueden contener más mercurio que las unidades nuevas. En general, los termómetros para medir la temperatura ambiente contienen un poco más de mercurio: de 2 a 5 g. En los laboratorios, las industrias y con fines de aplicación especial se usa un importante número de diversos termómetros de vidrio; su contenido de mercurio está en el rango de 0.3 a 48 g por unidad.

Tabla 5-102 Ejemplos de contenido de mercurio en termómetros por tipo y región (g de mercurio por unidad)

Tipo de termómetro	Contenido de mercurio (g de Hg/artículo)	País/región de donde provienen los datos	Observaciones
Termómetros médicos	0.5-1.5	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002
	2	Francia	AGHTM, 2000
	1.85	Rusia	Yanin, 2004
	0.61	Estados Unidos	US EPA, 1992
	0.7	Canadá	Environment Canada, 2003a
	0.25	Dinamarca	Skårup <i>et al.</i> , 2003
Termómetros de uso doméstico	0.5-2.25	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002 Uso no especificado con detalle
Termómetros de	2-5	Rusia	Yanin, 2004

Tipo de termómetro	Contenido de mercurio (g de Hg/artículo)	País/región de donde provienen los datos	Observaciones
temperatura ambiente	2.25 3	Estados Unidos Canadá	US EPA, 1992 Environment Canada, 2003a
Termómetros industriales y para aplicaciones especiales	10 3.9-7.4 5-200	Unión Europea Rusia Dinamarca	Floyd <i>et al.</i> , 2002 Yanin, 2004 Maag <i>et al.</i> , 1996; control de grandes motores de diesel en buques, etc.
Termómetros de laboratorio	1.4-48	Rusia	Yanin, 2004
Termómetros para realizar pruebas en productos de petróleo	0.3-2.2	Rusia	Yanin, 2004

#### 5.5.1.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

##### i) Producción

746. Los datos de emisiones de mercurio en la producción de termómetros en Estados Unidos parecen ser muy escasos. Un informe de la US EPA publicado en 1973 presenta un factor de emisión atmosférica para la fabricación general de instrumentos de 9 kg de mercurio emitido al aire para cada tonelada métrica de mercurio usado (9kg perdidos/tonelada métrica de entradas). Este factor de emisión habrá de aplicarse con extrema precaución, pues su único fundamento son las respuestas a encuestas realizadas en la década de 1960 y no los datos obtenidos en pruebas efectivas, y dicho factor podría no ser aplicable a la producción de termómetros. Además, la producción de instrumentos y los métodos de control de mercurio empleados dicho proceso han cambiado considerablemente desde la época en que se llevaron a cabo las encuestas (US EPA, 1997a).

747. Unilever reporta que durante un período de operaciones de más de 18 años de su fábrica de termómetros en la India menos de 1% (10 kg/tonelada métrica de entrada de mercurio, a partir de los supuestos más pesimistas) ha sido liberado a la atmósfera, principalmente por vaporización (Unilever, 2003).

748. Se cuenta con pocos datos relativos a otras liberaciones durante la producción. Toxics Link (2003) reporta una tasa de rompimientos de 30-40% durante la producción de instrumentos en instalaciones de la India, aunque se reporta que los fabricantes recuperan parte de ellos. Las liberaciones pueden ocurrir debido a derrames de mercurio, termómetros rotos y otros accidentes acaecidos durante el proceso de producción. Es común que estas liberaciones no se contabilicen y sólo sea posible calcularlas a partir de balances de masa para la producción de termómetros.

##### ii) Uso y disposición

749. Las rutas de disposición varían entre los termómetros usados en hospitales, viviendas y laboratorios/industrias.

750. En general, los termómetros de mercurio son desechados debido a su mal funcionamiento (la temperatura que registran es incorrecta) o a que se rompen. En algunos países, por ejemplo en Estados Unidos y en Suecia, es posible recibir un termómetro electrónico a cambio del termómetro de mercurio a través de campañas especiales. La tasa de rompimiento de termómetros reportada en diversos estudios es variable y depende del uso real de los termómetros; las tasas más altas de termómetros médicos se registran en el uso doméstico.

751. Un informe preparado por la US EPA en 1992 supone una tasa de roturas de 5% (US EPA, 1992) con base en una encuesta telefónica realizada en 1990 por los fabricantes de termómetros de ese país.

752. Por el contrario, Barr (2001) supone que 50% de los termómetros en Estados Unidos se rompen cuando ya están en posesión del consumidor, ya que la única razón para desechar un termómetro es que éste se haya roto. Del 50% de los termómetros rotos, Barr supone que 20% del mercurio termina en las aguas residuales después de que las personas recogen los derrames y lavan la zona, y 10% se pierde al aire por volatilización. El mercurio restante se distribuye entre los desechos sólidos municipales, los desechos infecciosos y el reciclaje. Estos porcentajes son cálculos aproximados de Barr basados en datos muy limitados (Barr, 2001). Ya que el uso de termómetros para la fiebre en situaciones clínicas es común, su eliminación como desechos infecciosos se incluye a modo de vía de liberación potencial, al igual que las roturas, la disposición de desechos sólidos municipales, el reciclaje y las aguas residuales (Barr, 2001). Barr (2001) calcula que 88% de los termómetros para la fiebre que no se rompieron durante su uso en Minnesota en 1996 se depositaron con los desechos sólidos municipales, mientras que 12% se recogió para su reciclaje.

753. Skårup *et al.* (2003) no reportan tasa de rompimiento, pero calculan que alrededor de 1/3 del mercurio en los termómetros médicos de uso doméstico se libera a las aguas residuales durante la limpieza de derrames cuando se rompe un termómetro. Consideran que la parte restante se distribuye más o menos por igual entre la disposición como desechos sólidos municipales y desechos peligrosos en Dinamarca. Se calcula que 90% del mercurio en los termómetros usados en la industria/los laboratorios se elimina con los desechos peligrosos (para su reciclaje), mientras que 5% se elimina con los desechos municipales y las aguas residuales respectivamente. En Dinamarca, se reporta que la mayor parte del mercurio de los termómetros usados en el sector de los hospitales se dispone como desechos químicos, independientemente de que los termómetros estén o no rotos (Skårup *et al.*, 2003).

754. Floyd *et al.* (2002) suponen que 5% de los equipos de medición y control que contienen mercurio en la Unión Europea se rompe antes de terminar su ciclo de vida útil. La tasa de rompimiento es aplicable a todos los equipos y la tasa para termómetros médicos de uso en el hogar puede ser significativamente superior. Se estima que 10% del mercurio en los equipos rotos se emite a la atmósfera, 20% va al sistema de alcantarillado, 20% se recoge para su recuperación y 50% es depositado con los desechos generales. Para el caso del mercurio en todos los equipos de medición y control en la Unión Europea, Floyd *et al.* (2002) calculan que 15% se recoge para su recuperación, 80% es depositado como desecho sólido y 5% se rompe durante el uso.

755. En Francia, alrededor de 90% del consumo de termómetros de mercurio se atribuye al sector hospitalario (AGHTM, 2000). Se calcula que la vida promedio de los termómetros alcanza un máximo de 1 a 2 meses en hospitales y los informes señalan que los termómetros se rompen con mucha frecuencia. Los autores suponen que 100% de los termómetros se rompe y la posibilidad de recuperar el mercurio es muy baja, pues las roturas ocurren en lugares de difícil acceso. En consecuencia, mucho del mercurio se libera a las aguas residuales durante la limpieza de las habitaciones.

756. Se espera que los termómetros recogidos durante campañas de intercambio de termómetros sean llevados a instalaciones para el reciclaje de mercurio o para el tratamiento de desechos peligrosos.

#### **5.5.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas**

757. A partir de los ejemplos compilados hasta ahora, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

**a) Factores por defecto de entrada de mercurio**

758. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en los termómetros de que se trate arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

759. Si no se dispone de información sobre el contenido de mercurio en los termómetros usados, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-103 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto).

760. No hay que olvidar que estas cifras se refieren únicamente a termómetros rellenos de mercurio. Al cuantificar los suministros anuales de termómetros, es importante recordar la venta de muchos termómetros sin mercurio (termómetros de vidrio con alcohol o aleaciones líquidas de metal, así como termómetros electrónicos), por lo que se requiere de información específica sobre el suministro de termómetros con mercurio.

Tabla 5-103 Factores **preliminares** de entrada por defecto de mercurio por tipo de termómetro

Tipo de termómetro	Contenido de mercurio (g de Hg/artículo)
Termómetros médicos	0.5-1.5
Termómetros para medir la temperatura ambiente	2-5
Termómetros industriales y para aplicaciones especiales (por ejemplo, control de motores navales)	5-200
Diversos termómetros de vidrio con Hg, incluidos los de uso en laboratorio	1-40

**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

761. El factor de salidas atmosféricas a partir de la producción se basa en los datos Unilever arriba descritos. Se desconocen las liberaciones de mercurio a los desechos y otras vías.

762. En el caso de la disposición, las salidas son extremadamente dependientes de las prácticas de manejo de desechos en cada uno de los sectores en los que se usan termómetros de mercurio; los factores por defecto que se presentan a continuación son simplificaciones cuyo objetivo es evidenciar la posibilidad de salidas sustanciales de mercurio en cada una de las vías señaladas. Las cuantificaciones de las corrientes de desechos registradas en cada uno de los sectores dentro del país coadyuvarán a tener un cuadro más preciso de las salidas de mercurio en este grupo de productos. Si no se dispone de datos cuantitativos específicos, puede recurrirse a los factores de distribución que aparecen en la tabla.

763. Cabe señalar que la tabla únicamente distribuye las salidas de liberaciones directas al ambiente y las dos categorías de desechos mencionadas. El destino final del mercurio en los desechos depende en gran medida del escenario nacional/regional del tratamiento de desechos y los diseños para la reducción de emisiones. La sección 5.8, dedicada a la incineración de desechos generales, y la sección 5.9, dedicada a los rellenos sanitarios/la disposición, incluyen descripciones sobre estos temas.

764. También cabe señalar que en los factores por defecto de distribución de salidas de mercurio aquí mencionados, el vertido o la incineración informal de desechos se cuantifican como liberaciones directas al aire, la tierra y el agua, según corresponda. Es importante tener cuidado de evitar la

duplicación contable si los cálculos de liberaciones de mercurio se hacen por separado para el vertido o la incineración informal de desechos.

Tabla 5-104 Factores *preliminares* de distribución por defecto en las salidas de mercurio a partir del uso y la disposición de termómetros

Etapa del ciclo de vida	Factores de distribución por defecto, porción de las entradas de Hg				
	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento / disposición específicos por sector *1
<b>Producción *3</b>	0.01	?	0.01	?	?
<b>Durante el uso y la disposición (situación real de la gestión de desechos en el país): *2</b>					
No hay recolección separada de termómetros o ésta es muy limitada. Todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada.	0.1	0.3		0.6	
No hay recolección separada de termómetros o ésta es muy limitada. Abunda la recolección informal de desechos generales o simplemente no existe.	0.2	0.3	0.2	0.3	
Recolección separada de termómetros con altas tasas de recolección. Todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada.	0.1	0.3		0.3	0.3

Notas: \*1 Reciclaje de mercurio o disposición especial, por ejemplo disposición segura en viejas minas;

\*2 Las entradas de mercurio a la disposición son las cantidades de mercurio en los tipos de termómetros, combinadas con las cantidades desechadas de los tipos respectivos de termómetros. Si se dispone de datos anuales de suministro para unos cuantos años previos (para el mismo tipo de termómetros), pueden usarse como aproximaciones de las cantidades desechadas;

\*3 Salidas en la porción de entradas de mercurio a la producción dentro del país. Si no es posible obtener las cantidades de mercurio suministradas a la producción, el estimado puede obtenerse con la cantidad de mercurio en los productos manufacturados.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

765. Las salidas calculadas a desechos recogidos por separado y desechos sólidos municipales en esta sección contribuyen a las entradas de mercurio a rellenos sanitarios/depósitos (sección 5.9) y a la incineración de desechos (sección 5.8).

766. Las salidas calculadas para reciclaje en esta sección contribuyen a las entradas de mercurio para el reciclaje de este metal (sección 5.7.1).

#### 5.5.1.6 Datos principales por fuente

767. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Cifras de producción nacional de termómetros con contenido de mercurio;
- Consumo de termómetros con contenido de mercurio para el sector de los hospitales, viviendas y laboratorios/industrias respectivamente, y

- Diseño y eficacia de los sistemas de manejo de desechos en cada uno de los sectores donde se usan termómetros de mercurio.

768. En lo que respecta a la producción nacional, las salidas por consumo y producción de mercurio pueden constituir información confidencial. Es posible obtener volúmenes de producción a partir de las estadísticas nacionales, pero difícilmente se encontrarán cifras desglosadas por tipo de termómetro.

769. Es posible encontrar datos sobre el consumo de termómetros con contenido de mercurio en las estadísticas comerciales nacionales, pero difícilmente se encontrarán cifras desglosadas por tipo de termómetro y sector. Esta información habrá de solicitarse de los proveedores.

770. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

## 5.5.2 Interruptores eléctricos y relevadores con mercurio

### 5.5.2.1 Descripción de la subcategoría

771. El mercurio se ha usado (y sigue usándose) en diversos interruptores y relevadores eléctricos. Datos de Estados Unidos indican que el consumo de mercurio sigue siendo significativo para este grupo de productos (Estados Unidos, 2002). En algunos países se ha sustituido el mercurio de los componentes eléctricos en los últimos veinte años y productos sustitutos sin mercurio han empezado a usarse en estas aplicaciones en algunos países. Sin embargo, la situación y el alcance de la sustitución puede variar mucho de un país a otro. Además, independientemente de la situación de la sustitución, es probable que los interruptores y relevadores con mercurio aparezcan en los desechos en los años por venir debido a la larga vida útil de estos artículos. Esta subcategoría incluye a un grupo muy diverso de productos en cuanto a las diferentes aplicaciones, contenidos de mercurio y plazos de vida útil de los componentes eléctricos, por lo que el cálculo de liberaciones de mercurio en la subcategoría puede implicar un esfuerzo sustancial. Estudios recientes realizados en Estados Unidos demuestran la existencia de interruptores/relevadores alternativos, sin mercurio, comparables o superiores a los productos que sí contienen mercurio en términos de costo y funcionalidad para casi todas las aplicaciones (Galligan *et al.*, 2003, citado por NRDC en comentarios al PNUMA, 2005). En consecuencia, un número cada vez mayor de estados de ese país ha promulgado leyes para prohibir la venta de interruptores y relevadores nuevos con contenido de mercurio.

772. El principal uso de mercurio elemental en la manufactura de aparatos eléctricos se encuentra en los interruptores inclinados, también conocidos como “interruptores silenciosos”. Los interruptores inclinados se construyen añadiendo mercurio a un tubo de cristal con contactos de alambre de metal y después sellando el tubo. La aplicación de fuerza mecánica exterior o gravedad activa el interruptor al cambiarlo a una posición horizontal, lo que hace que el mercurio fluya de un extremo del tubo a otro, generando un conducto de corriente eléctrica. En Estados Unidos los interruptores inclinados se han usado principalmente para los interruptores eléctricos silenciosos de pared y los interruptores eléctricos de termostatos para la calefacción residencial y comercial. Barr (2001) reporta que los interruptores de mercurio se han usado en termostatos durante más de 40 años. Existen termostatos sin mercurio; sin embargo, los reportes indican que no duran tanto ni funcionan tan bien como los termostatos con mercurio. No obstante, algunos países no los usan y no tienen problemas. Ahora los estudios realizados en Estados Unidos indican que los termostatos sin mercurio son equivalentes o superiores a los modelos que sí tienen mercurio gracias a las mejoras hechas a los modelos sin mercurio (Centro Lowell para la Producción Sostenible, 2003), (Orden Maine DEP, 2003) y (Junta de Protección Ambiental de Maine, 2004). En el año 2001 todavía había termostatos con interruptores de mercurio en el mercado estadounidense (Barr, 2001) y los termostatos con mercurio se seguían vendiendo en ese país en 2005, aunque el mercado está cayendo aproximadamente en 10%/año y esta tendencia se acelerará debido a las leyes en seis estados (aprobación pendiente en otros) que prohíben la venta de nuevos termostatos de mercurio (PSI, 2004). Los contratistas que trabajan en la calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) son los principales consumidores de este tipo de dispositivos, los cuales tal vez todavía se usen mucho en viviendas y otros edificios alrededor del

mundo. En el caso de los autos, los interruptores inclinados son de uso amplio para las llamadas “luces de conveniencia”, es decir, aquellas que se encienden cuando se abre una puerta o el maletero. Además, se han usado pequeños interruptores inclinados para los frenos de tipo ABS y los sistemas y los sistemas de control activo de la suspensión. En autos estadounidenses producidos en 1996, los interruptores de las luces explicaban 87% del total de las 11.2 toneladas métricas usadas, los sistemas ABS 12% y el control de la suspensión 1% (Griffith *et al.*, 2001). El mercurio se usó en los sistemas de tracción 4X4. Los autos nuevos que se venden en Estados Unidos no contienen interruptores de mercurio en las luces de conveniencia ni en los sistemas ABS desde 2003. Los autos europeos prescinden de mercurio desde mediados de la década de 1990 (Skårup *et al.*, 2003).

773. Los “interruptores de flotador” constituyen un tipo especializado de interruptor inclinado. Su uso es común en bombas de sumidero y bombas de achique para activar o desactivar equipos. El brazo del flotador se sujeta a una caja de control donde se encuentra el interruptor inclinado de mercurio. El movimiento del brazo enciende o apaga los interruptores. En Dinamarca, en 1992, los interruptores de flotador con mercurio explicaban alrededor de 60% del total del uso de mercurio en interruptores y relevadores (Skårup *et al.*, 2003). Los interruptores “de nivel” usados para encender o apagar una corriente eléctrica como respuesta a algún movimiento mecánico (tradicionalmente un tubo de vidrio con mercurio flotante) pueden constituir el artículo más significativo en relación con las cantidades de mercurio consumido. Los interruptores inclinados de mercurio también se encuentran en muchos otros productos, como las tapas de los arcones congeladores, los teléfonos, las alarmas contra robo para buques, las lavadoras de ropa, algunos zapatos deportivos con luces intermitentes, las luces para el control de ferrocarriles y computadoras portátiles.

774. Además del uso de interruptores inclinados con mercurio en los termostatos comunes, también se usa mercurio en otros dos tipos de termostato. Un “accustat” es un termostato de vidrio parecido a un termómetro con dos conexiones eléctricas. Enciende y apaga el flujo eléctrico por expansión de mercurio.

775. El segundo tipo son las sondas de termostato de mercurio, también conocidas como sensores de flama o válvulas de seguridad de gas. La sonda de metal consiste en un bulbo metálico y un tubo Delgado ajustado a una válvula de control del gas. El mercurio se encuentra dentro del tubo y se expande o contrae para abrir o cerrar la válvula. Es común encontrarlas como parte de la válvula de seguridad que evita el flujo de gas si la luz del piloto no está encendida en diversos tipos de aparatos que funcionan a gas, como calentadores de agua, hornos y calefactores. Las cafeteras y planchas automáticas usan fusibles térmicos (Skårup *et al.*, 2003)

776. Los relevadores son interruptores controlados eléctricamente. Los relevadores de émbolo o desplazamiento de mayor tamaño se usan para alumbrado y calefacción de corriente intensa. El relevador de desplazamiento de mercurio usa un émbolo metálico para funcionar. El émbolo es más ligero que el mercurio, por lo que flota encima de él. Cuando la energía de la bobina está apagada, el nivel de mercurio se encuentra por debajo de la punta del electrodo y no hay trayectoria de corriente entre el electrodo aislado en el centro y el depósito de mercurio. Cuando se aplica energía de la bobina el émbolo llega al depósito de mercurio gracias al impulso que recibe del campo magnético y el émbolo se centra dentro de la trayectoria de la corriente. Los relevadores de émbolo contienen hasta 400 g de mercurio (Environment Canada, 2003b).

777. Los relevadores de lengüeta húmeda se encuentran en pequeños controles de circuito en dispositivos electrónicos de bajo voltaje. Estos relevadores consisten en una lengüeta encapsulada en vidrio cuya base está inmersa en un depósito de mercurio y el otro extremo puede moverse entre dos series de contactos (Galligan *et al.*, 2003). El mercurio fluye por la lengüeta por acción capilar y moja la superficie de contacto con los contactos fijos. Los relevadores de lengüeta son de uso común en equipos para pruebas, calibración y medición, es decir, aplicaciones especializadas que requieren de resistencia de contacto estable superior a la vida del producto. El contenido común de mercurio en cada relevador es de 1-10 mg (Skårup *et al.*, 2003) y, aunque su uso puede ser amplio, el consumo total de mercurio con relevadores en el ámbito de la electrónica ha sido relativamente pequeño

comparado con los interruptores de mercurio aquí descritos. Pueden usarse relevadores de contacto de mercurio con un interruptor parecido a los interruptores inclinados ya descritos, pero este uso parece no ser muy común.

### 5.5.2.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

778. De manera similar a otros productos que contienen mercurio, las liberaciones pueden ocurrir:

- 1) A partir de la producción de interruptores y relevadores de mercurio (al aire, el agua y la tierra) dependiendo de lo cerrado de los sistemas de manufactura y de los procedimientos de manejo en el lugar de trabajo dentro de las unidades de producción individual;
- 2) Cuando los interruptores se rompen o pierden (al aire, el agua, la tierra) durante su uso, y
- 3) Durante la disposición de los productos que contienen interruptores (o los propios interruptores) después de su uso (directamente a la tierra o al relleno sanitario y, en consecuencia, posteriormente al agua y el aire), dependiendo en gran medida de los tipos y la eficacia de los procedimientos de recolección y manejo de desechos (COWI, 2002).

Tabla 5-105 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de los interruptores y relevadores con mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción	x	x	x	<b>X</b>		x
Uso	x	x	x			
Disposición	<b>X</b>		<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>

Notas: **X** - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

#### i) Producción

779. Durante la fabricación de interruptores eléctricos (de pared y termostato), puede haber liberaciones de mercurio en el proceso de soldadura o relleno, como resultado de derrames o roturas, durante la prueba de los productos y como resultado de la transferencia de materiales (US EPA, 1997a). En una de las publicaciones de la US EPA (1997a) se encuentra una descripción de los procesos para la producción de este tipo de dispositivos.

#### ii) Uso

780. Ya que el mercurio está contenido en una ampollita sellada dentro del dispositivo, las liberaciones de mercurio no ocurren durante su uso normal (Environment Canada, 1999). Cuando un interruptor se rompe el mercurio se libera a diversos medios, incluido el aire (como vapor), la tierra y las aguas residuales. Los interruptores rotos pueden depositarse con otros desechos sólidos, pero en este caso se consideran bajo el rubro de disposición (ver siguiente inciso). La magnitud de las liberaciones a cada vía depende de los procedimientos de limpieza y otros factores.

#### iii) Disposición

781. Debido a la larga vida útil de los equipos y a la importante caída en el consumo en años recientes en algunos países, la disponibilidad de datos históricos de consumo es crucial para determinar la cantidad de mercurio desechado con los equipos. Un estudio realizado en Estados Unidos calcula que 10% de los interruptores se desecha después de 10 años, 40% después de 30 años y el 50% restante después de 50 años (US EPA, 1992, citado en US EPA, 1997b). Los interruptores inclinados que se usan en las construcciones (por ejemplo, los interruptores de pared y los interruptores en termostatos) suelen durar de 30 a 50 años, y su disposición suele ocurrir cuando los edificios son renovados o demolidos (Environment Canada, 1999). Los interruptores y relevadores en



equipos eléctricos/electrónicos y autos suelen desecharse cuando los equipos o los autos son eliminados y la cantidad desecheda en el momento refleja el consumo de hace 15 o 20 años.

782. Floyd *et al.* (2002), al estudiar el consumo en la Unión Europea, notaron que en la práctica la vida útil se determina por la vida del equipo dentro del que operan los interruptores, y calcularon que dicha vida útil en la práctica está en el rango de los 5 a 10 años. Es probable que suceda algo parecido sólo con otros interruptores y relevadores distintos de los empleados en las viviendas y los autos.

783. Debido a que el patrón de consumo ha cambiado considerablemente en algunos países en años recientes, es muy difícil llegar a estimaciones confiables sobre la cantidad de mercurio desechedo con los productos eliminados a partir de la información relativa al consumo actual, aplicando un supuesto estable. Sin embargo, a veces es posible calcular el número de termostatos de mercurio desechedos cada año sin usar datos históricos de las ventas obteniendo la cantidad de termostatos de reemplazo (de todos los tipos) vendidos cada año (según lo reportado en publicaciones comerciales) y estimando el porcentaje de termostatos reemplazados que son de mercurio (PSI, 2004). Esta metodología puede usarse en el caso de otros productos con mercurio para los que se disponga de datos de venta por reemplazo.

784. Es posible estimar la cantidad de equipos acumulados en la sociedad (equipos todavía en uso) a partir de los datos de consumo histórico. La fracción de equipos desechedos recogidos para el manejo seguro del mercurio dependerá en gran medida de la existencia y eficacia de las campañas de recolección y las prácticas generales para el tratamiento de desechos de equipos eléctricos y electrónicos. La información sobre las cantidades recogidas y la eficacia de la recolección puede constituir el mejor fundamento para calcular el total de mercurio en los equipos desechedos. En algunos casos puede ser útil calcular estimados aproximados a partir de los datos de países en situaciones similares.

785. En algunos países hay campañas diseñadas específicamente para recoger los interruptores con contenido de mercurio, por ejemplo la campaña “Colorado sin mercurio – programa de reciclaje de termostatos” (DPHE, 2003). Las campañas pueden incrementar significativamente la cantidad de mercurio recogido ya que en términos generales no hay incentivos económicos fuertes para reciclar el mercurio. Por desgracia, a pesar de la campaña de Colorado y otros esfuerzos similares en otros lugares, hasta ahora las iniciativas voluntarias en Estados Unidos han producido resultados menores (PSI, 2004, citado por NRDC en comentarios al PNUMA, 2005). En consecuencia, se están prohibiendo las ventas de productos nuevos con contenido de mercurio en un número cada vez mayor de estados.

786. La cantidad de interruptores desechedos que se recoge para su reciclaje depende además de las prácticas y los requisitos legales sobre el tratamiento de desechos eléctricos y electrónicos. En países de la Unión Europea se implementaron requisitos específicos para la remoción de componentes que contienen mercurio, como los interruptores o las lámparas de retroiluminación, en agosto de 2004.

787. Aun en países donde hay separación de residuos, parte de los interruptores y relevadores se depositan con los desechos sólidos municipales y los desechos de recicladores y desfragmentadores de chatarra.

788. En el caso de los interruptores que llegan a rellenos sanitarios protegidos, parte del mercurio se libera lentamente por evaporación gradual a la atmósfera conforme se degrada el encapsulado y causa lentas filtraciones a las aguas residuales (o a las aguas superficiales si el relleno no cuenta con membrana), y podría alcanzar proporciones mayores si se hicieran excavaciones en la zona (o incluso si se registraran cambios climáticos/geológicos). Véase la descripción de rellenos sanitarios/disposición en la sección 5.9.

789. En el caso de los interruptores que terminan en la incineración de desechos, la mayor parte del mercurio se libera a la atmósfera durante la incineración, mientras que la menor parte queda en los

residuos sólidos de dicho proceso y, de aplicarse, en los residuos de la limpieza de gases de salida y posteriormente se deposita en rellenos sanitarios o de otro tipo, como lo describe la sección 5.8.

790. Cuando se trata de desechos no recogidos, perdidos en forma difusa o vertederos informales sin protección, las pérdidas se van directamente a la tierra.

### 5.5.2.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-106 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de los interruptores y relevadores con mercurio

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción	Consumo total de mercurio para la producción o Número de interruptores y relevadores producidos por año (en el país) por tipo	Kg de mercurio liberado por kg de mercurio usado para la producción o por kg de mercurio en interruptores producidos
Uso *1	Datos históricos sobre el número de interruptores de mercurio consumidos al año	g de mercurio por interruptor proveído, por tipo y sector
Disposición *1	Datos históricos sobre el número de interruptores de mercurio consumidos al año	g de mercurio por interruptor proveído, por tipo y sector

Notas: \*1 Si no se dispone de estos datos, pueden usarse los factores de entrada por defecto que se presentan a continuación; éstos se basan en datos sobre el suministro de mercurio per cápita con este tipo de producto y operan con la tasa de actividad del número de habitantes del país.

#### i) Producción

791. En la mayoría de los países hay unos cuantos fabricantes de interruptores y relevadores con contenido de mercurio; en algunos países no se fabrican estos dispositivos. De preferencia y siempre que sea posible, los datos sobre la cantidad de mercurio usado en la producción, el número de dispositivos producidos y las liberaciones reales durante el proceso de producción habrán de obtenerse directamente de los fabricantes. En algunos casos, las estadísticas ambientales nacionales ofrecerán información sobre las liberaciones durante el proceso de producción. En caso de que no sea posible obtener información específica, el número de interruptores producidos por año puede encontrarse en las estadísticas nacionales y la cantidad de mercurio empleada en la producción puede calcularse usando factores por defecto para el mercurio por unidad. Sin embargo, este tipo de estadísticas puede no ser fácil de encontrar en la mayoría de los países. De haber información sólo sobre el volumen de producción, puede llegarse a un cálculo inicial de liberaciones por medio de los ejemplos de contenido de mercurio por interruptor y los factores de distribución por defecto a continuación.

792. En 1996, se consumió un total de 49 toneladas métricas de mercurio en 1996 durante la producción de dispositivos para cableado e interruptores (Sznoppek y Goonan, 2000), cifra que representa alrededor de 13% del consumo total intencional de mercurio en el país. Como se reportó en 2004 (Barr, 2004), el consumo anual estimado de mercurio en productos como uso de interruptores/relevadores (termostatos incluidos) representó 42% del uso de productos en Estados Unidos, es decir, un total de 103 toneladas cortas (aproximadamente 91 toneladas métricas). La base de datos del Centro de Información Interestatal para la Difusión y Reducción del Mercurio (IMERC) indica que los fabricantes de interruptores/relevadores (termostatos incluidos) notificaron a este consorcio de estados que habían usado más de 69 toneladas cortas de mercurio en productos vendidos en Estados Unidos en 2001 (NEWMOA, 2001).

## ii) Uso

793. A diferencia del caso de los termómetros, los interruptores y relevadores que contienen mercurio suelen llegar al consumidor como componentes de otros equipos; por ello, resulta difícil obtener datos confiables sobre el consumo real de mercurio en productos comercializados. Cabe señalar que esta parte de la evaluación puede tomar mucho tiempo. Muy probablemente la información del mercado no se encontrará en estadísticas comerciales nacionales. El consumo actual de interruptores que contienen mercurio puede obtenerse directamente de los proveedores principales de los productos que suelen tener este tipo de dispositivos: termostatos, equipos de aire acondicionado, bombas sumergidas, autos, etc. En caso de que existan inventarios o evaluaciones de mercurio en países vecinos, puede recurrirse a esa información cuando no se dispone de otros datos. A modo de ejemplo de esta metodología, la US EPA (1992) calculó el número de termostatos comprados tomando como base el número de viviendas nuevas construidas cada año (US EPA, 1992, citado en Barr, 2001). Este enfoque puede explicar parte del consumo actual, pero no cubre las ventas por reemplazo. En todo caso, también se necesita información sobre el número de termostatos/interruptores por edificio y porcentaje de termostatos/interruptores que contienen mercurio *versus* tipos sin mercurio (Barr, 2001).

794. Una dificultad adicional para los cálculos se presenta cuando el uso de interruptores de mercurio ha cesado o ha caído considerablemente en la sociedad. En ese caso, los datos de consumo actual no sirven y las liberaciones de mercurio por rompimiento durante el uso de interruptores y por disposición deben calcularse con base en viejos datos de suministro combinados con cálculos aproximados de vida útil de los interruptores. El número acumulado de interruptores de mercurio en uso refleja la cifra de contenido y consumo de mercurio de años previos. Los períodos de vida pueden alcanzar los 50 años en el caso de algunas aplicaciones.

795. Otro enfoque posible consiste en calcular el rompimiento y la disposición a partir de la cantidad total acumulada en la sociedad, multiplicada por la porción estimada de interruptores en uso que se rompe o es desechada cada año. La porción de interruptores que se rompen puede ser insignificante, pero en cualquier caso se usan las cantidades totales acumuladas en la sociedad para calcular la cantidad desechada tal como se comenta a continuación.

796. El primer paso para calcular la cantidad de mercurio en uso es determinar si se han usado interruptores con contenido de mercurio (y si todavía se comercializan) en el país. La tabla 5-107 presenta las principales áreas de aplicación que deben verificarse. Cuando se haya confirmado el uso (o comercialización) de interruptores con contenido de mercurio para determinada aplicación, el siguiente paso es calcular la cantidad que todavía se usa.

Tabla 5-107 Ejemplos de contenido de mercurio en interruptores, contactos y relevadores eléctricos y electrónicos en g de mercurio por kg de artículos específicos, por tipo y origen de los datos.

Tipo de interruptor, contacto o relevador eléctrico y electrónico	Contenido de mercurio (g de Hg/artículo)	País/región de donde provienen los datos	Observaciones
Interruptores inclinados para termostato	3	EE.UU.	PRF, 1996; los termostatos suelen tener entre 2 y 6 interruptores inclinados
Termostatos (accustat)	1.8 – 14.4	Rusia	Yanin, 2004
	1	EE.UU.	Huber, 1997
Sensor de flama	2.5	EE.UU.	Huber, 1997; usados en variedades de gas
Interruptores silenciosos de pared	3	EE.UU.	US EPA, 1997a
	2	EE.UU.	PRF, 1996
Luces de congelador e interruptores de máquinas	2	EE.UU.	Huber, 1997

Tipo de interruptor, contacto o relevador eléctrico y electrónico	Contenido de mercurio (g de Hg/artículo)	País/región de donde provienen los datos	Observaciones
lavadoras			
Interruptores industriales	hasta 3.600 3-6	EE.UU. EE.UU.	PRF, 1996 Huber, 1997
Interruptores de flotador	6.8-13.6	Dinamarca	Skårup <i>et al.</i> , 2003 (para bombas de alcantarillado, etc.)
Interruptor en zapatos deportivos con luces intermitentes	2	Dinamarca	Skårup <i>et al.</i> , 2003
Interruptores para automóvil	0.7-1.5	EE.UU.	Griffith <i>et al.</i> , 2001; interruptores de mercurio usados en las luces del compartimiento del motor y maletero. Sistemas de frenos ABS en tracción 4X4 y sistemas de control de suspensión
Interruptores	0.9-23	Rusia	Yanin, 2004
Relevadores de émbolo o desplazamiento	hasta 400	Canadá	Environment Canada, 2003b
Relevadores de mercurio en electrónica	0.001-0.01	Dinamarca	Skårup <i>et al.</i> , 2003

### iii) Disposición

797. En el caso de aplicaciones para las que sí existan datos históricos de consumo, la cantidad desechada puede calcularse suponiendo un promedio de vida útil de los equipos. A modo de ejemplo, Barr calculó la disposición total de mercurio con termostatos en Minnesota a partir del consumo 20 años atrás suponiendo un promedio de vida útil de 20 años para un termostato (Barr, 2001).

798. La información sobre los tipos de equipos recolectados y las cantidades recogidas de mercurio puede obtenerse a través de las empresas u otras organizaciones dedicadas al tratamiento de desechos con contenido de mercurio. La información encontrada puede indicar qué tipos de equipo se han desechado en el país. El total nacional puede calcularse extrapolando los datos obtenidos de las ubicaciones o sectores descritos.

799. La tabla 5-107 presenta ejemplos de contenido de mercurio en interruptores y relevadores eléctricos y electrónicos.

#### 5.5.2.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

##### i) Producción

800. Tres instalaciones en Estados Unidos dedicadas a la fabricación de interruptores eléctricos y componentes eléctricos reportaron emisiones atmosféricas de alrededor de 2 kg de mercurio para el año 1994, es decir, un total de 6 kg por parte de las 3 instalaciones (US EPA, 1997a). Se sabe que en ellas no se dispone de tecnologías para eliminar el mercurio de las corrientes de escape. Sin embargo, sí se toman medidas para reducir las exposiciones en el lugar de trabajo, como la modificación de procesos, la contención, la ventilación de recintos, la ventilación de los escapes locales, el control de temperaturas, la ventilación por dilución y el aislamiento (US EPA, 1997a).

801. No se han identificado datos de emisión de mercurio para otros fabricantes de interruptores eléctricos. En la producción de botones de mercurio para interruptores de pared o interruptores de termostato, las principales fuentes de emisión de mercurio tienen lugar durante los procesos realizados

en salas de aislamiento. Las salas de aislamiento se ventilan para mantener una presión ligeramente negativa y evitar la contaminación por mercurio en áreas de trabajo adyacentes. En 1997, la US EPA reportó la inexistencia de datos de emisión o resultados de pruebas para calcular un estimado de emisiones de mercurio a partir de los dos procesos (US EPA, 1997a). Sin embargo, un informe (US EPA, 1973, citado en US EPA, 1997a), presenta un factor de emisión para la generalidad del proceso de producción de aparatos eléctricos de 4 kg de mercurio emitido por cada tonelada métrica de mercurio usado. Este factor de emisión habrá de usarse con precaución, pues se basa en criterios de ingeniería y no en datos efectivos de pruebas (US EPA, 1997a). Es probable que la producción de interruptores eléctricos y los métodos para el control de mercurio usados en la industria hayan cambiado considerablemente desde 1973.

## ii) Uso

802. Se esperan liberaciones mínimas durante el uso porque estos interruptores y otros dispositivos similares suelen estar encapsulados en un contenedor de vidrio sellado u otros tipos de empaques. Comparados con los termómetros, cuyo rompimiento es una de las principales razones por las que los consumidores los desechan, los interruptores de mercurio suelen eliminarse con los equipos a los que están incorporados.

803. Sin embargo, estos dispositivos pueden llegar a romperse durante su uso, lo que provoca liberaciones al aire y posiblemente a la tierra y el agua. No ha sido posible identificar estudios que calculen las liberaciones producidas por la rotura de estos dispositivos, aunque éstas podrían ser significativas en algunos países. Para el caso de la Unión Europea, Floyd *et al.* (2002) consideran que el rompimiento de interruptores es insignificante. Skårup *et al.* (2003) no calculan liberaciones a partir del rompimiento de interruptores.

## iii) Disposición

804. La disposición del mercurio en los interruptores depende de la existencia de sistemas de recolección.

805. En Dinamarca se recogió la mayor parte del mercurio en 2001, principalmente mediante un sistema de reciclaje de teléfonos (Skårup *et al.*, 2003). Además, se recogieron interruptores como parte del tratamiento de congeladores y equipos electrónicos usados. Alrededor de 10 a 30% del total de mercurio desechado se dispuso como desechos sólidos municipales (y fue incinerado). En total, se desecharon 0.9-1.7 toneladas métricas mientras el consumo actual se calculó en menos de 0.024 toneladas métricas/año.

806. Floyd *et al.* (2002) calculan que, dentro de la Unión Europea, 15% del mercurio contenido en estos dispositivos se recoge para su recuperación, 80% se deposita con otros desechos sólidos y 5% se deposita con chatarra de acero (por ejemplo, los interruptores de autos y refrigeradores). Una posible explicación detrás de la cifra relativamente baja de mercurio que llega a los depósitos de chatarra de acero es que el uso de interruptores de mercurio en autos fue sustituido rápidamente en la Unión Europea en comparación con los Estados Unidos. Se calcula que el total de cantidades de mercurio desechadas dentro de la Unión Europea fue de 13.5 toneladas métricas/año en 2000, mientras que el consumo en ese mismo año fue de 9 toneladas métricas/año. Según ese estudio, el consumo a mediados de la década de 1990 fue de 28 toneladas métricas/año.

807. En Estados Unidos, el consumo total reportado de mercurio con dispositivos para cableado e interruptores se calculó en 49 toneladas métricas/año en 1996, mientras que la cantidad de mercurio desechado contabilizado para este grupo de productos fue de 32 toneladas métricas/año, la mitad de las cuales fue recogida para su recuperación. El consumo de mercurio para la producción de interruptores en Estados Unidos fue bastante estable en el período 1970-1995 (Sznoppek y Goonan, 2000). Como se reportó en 2004 (Barr, 2004), el consumo anual estimado de mercurio en productos como interruptores/relevadores (termostatos incluidos) representó 42% del uso de productos en el país, es decir, un total de 103 toneladas cortas (aproximadamente 91 toneladas métricas).

808. Los datos de disposición y consumo reportados se sintetizan en la tabla 5-108, así como los datos per cápita calculados.

*Tabla 5-108 Consumo reportado anual de mercurio con interruptores y relevadores en países y regiones seleccionadas, en totales y por habitante \*1*

	<b>Dinamarca, 1993</b>	<b>Dinamarca, 2001</b>	<b>UE 15, 2000</b>	<b>UE 15, mediados década 1990</b>	<b>EE.UU., 1996</b>	<b>EE.UU., 2004(?)</b>
Consumo reportado de mercurio para interruptores y relevadores, kg/año	300	24	9000	28000	49000	909000
Población, millones	5,4	5,4	376	376	281	296
Consumo anual de mercurio con interruptores y relevadores en g por habitante	0.06	0.004	0.02	0.07	0.17	0.31

Notas: 1\* Dinamarca: Ya en 1993, la mayoría de los interruptores y relevadores con mercurio vendidos habían sido sustituidos con alternativas sin mercurio; la mayor parte del consumo se registraba en los interruptores inclinados para bombas de alcantarillado, un uso que también se eliminó hacia el año 2001;

UE: El uso de interruptores de mercurio en autos llegó a su fin en la mayoría de los autos en el mercado a mediados de la década de 1990 o antes;

EE.UU.: El consumo reportado de mercurio para la producción de interruptores en este país fue bastante estable dentro del período 1970-1995 (Sznoppek y Goonan, 2000); desde 1996, el uso en autos probablemente ha caído. Según Barr (2004, citado por NRDC en comentarios al PNUMA, 2005), un cálculo posterior en cuanto al consumo estadounidense es 100 toneladas cortas (90.9 toneladas métricas), a partir de este cálculo se estima la cifra de 0.31 g por habitante en Estados Unidos.

#### **5.5.2.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas**

809. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

810. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

811. Debido a la falta de datos suficientes, no se establecieron factores para la producción de interruptores y relevadores de mercurio.

#### **a) Factores por defecto de entrada de mercurio**

812. Si no se dispone de más información que permita calcular las entradas como ya se describió, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-109 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la

entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto).

Tabla 5-109 Factores **preliminares** de entrada por defecto para el mercurio en interruptores, contactos y relevadores

	<b>Factores de entrada por defecto; g de mercurio consumido por habitante por año; (mínimo - máximo)</b>
Mercurio consumido anualmente con interruptores y relevadores con mercurio	0.02 - 0.25

### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

813. Cabe señalar que en los factores por defecto de distribución de salidas de mercurio aquí mencionados, el vertido o la incineración informal de desechos se cuantifican como liberaciones directas al aire, la tierra y el agua, según corresponda. Es importante tener cuidado de evitar la duplicación contable si los cálculos de liberaciones de mercurio se hacen por separado para el vertido o la incineración informal de desechos.

Tabla 5-110 Factores **preliminares** de distribución por defecto en las salidas de mercurio para el uso y la disposición de interruptores, contactos y relevadores eléctricos y electrónicos

Etapa del ciclo de vida	Factores por defecto de distribución de salidas, porción de entradas de Hg 2*				
	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector *1
<b>Uso y disposición (dependiendo de la situación real del manejo de desechos en el país):</b>					
No hay recolección separada de interruptores o ésta es muy limitada. Todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada. *4	0.1		0.1	0.8	
No hay recolección separada de interruptores o ésta es muy limitada. Abunda la recolección informal de desechos generales o simplemente no existe *3	0.3		0.4	0.3	
Recolección separada de interruptores con altas tasas de recolección. Todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada *4	0.1		0.1	0.4	0.4

Notas: \*1 Recolección separada de interruptores y relevadores con contenido de mercurio que puede destinarse al reciclaje o a la disposición especial y segura;

\*2 Las entradas de mercurio al uso y la disposición son las cantidades de mercurio en los tipos de componentes, combinadas con las cantidades desechadas de los tipos respectivos de componentes. Si se dispone de datos anuales de suministro para una vida útil previa (para el mismo tipo de componentes), pueden usarse como aproximaciones de las cantidades desechadas;

\*3 La distribución entre el aire, la tierra y los desechos generales es artificial y sólo tiene por objetivo señalar la posibilidad de que cantidades significativas de mercurio sigan estas vías en países con manejo informal generalizado de desechos, como el vertido difuso y la incineración informal. Aquí, ese tipo de manejo de desechos se considera como liberaciones directas al ambiente;

\*4 No se observaron datos sobre la distribución de mercurio no recogido por separado. La distribución sugerida entre desechos generales, aire y tierra es artificial, y sólo tiene por objetivo señalar que, además de los desechos generales, parte del mercurio en los interruptores de los edificios podría llegar a los desechos de demolición, los cuales podrían no llegar a un relleno sanitario seguro; asimismo, parte del mercurio en interruptores de congeladores y autos podría causar liberaciones durante los procesos de trituración de hierro y acero reciclados a partir de estos productos.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

814. Las salidas estimadas de mercurio a desechos recolectados por separado y a desechos domésticos generales a partir de esta subcategoría **contribuyen** a las entradas de mercurio a rellenos sanitarios/depósitos (sección 5.9) y la incineración de desechos domésticos (sección 5.8).

#### 5.5.2.6 Datos principales por fuente

815. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Producción nacional de interruptores y relevadores con contenido de mercurio;
- Datos reales e históricos sobre el consumo de interruptores con contenido de mercurio, y
- Establecimiento y eficacia de los sistemas de manejo de desechos.

816. En general, la producción de interruptores con contenido de mercurio se lleva a cabo en unas cuantas instalaciones, si es que las hay, y por lo tanto se recomienda un enfoque de fuente puntual para el cálculo de las liberaciones. Las cifras sobre el consumo de mercurio para la producción nacional y las salidas durante la producción deben obtenerse mediante contacto directo con los fabricantes, pues muy probablemente será imposible encontrar volúmenes de producción en las estadísticas nacionales.

817. Si no se dispone de datos históricos nacionales, las evaluaciones/inventarios de países vecinos (o países dentro de la misma región comercial), de haberlos, pueden servir para lograr un cálculo aproximado.

818. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5

## 5.5.3 Fuentes de luz con mercurio

### 5.5.3.1 Descripción de la subcategoría

819. El mercurio se usa en pequeñas cantidades por lámpara en diversos tipos de lámparas de descarga; los ejemplos más comunes son los tubos fluorescentes y las lámparas fluorescentes compactas (CFL) (COWI, 2002). Aproximadamente 95% de las lámparas que contienen mercurio y se usan en estados Unidos son tubos fluorescentes lineales (NESCAUM, 1998). El resto son CFL o lámparas de especialidad (como las lámparas de metal halógeno, de vapor de mercurio, de sodio de alta presión y de neón) producidas para un uso comercial o municipal, como el alumbrado público (NJ MTF, 2002). Algunos productores han avanzado mucho en la reducción de la cantidad de mercurio por lámpara, logrando reducciones de un factor 10 en las lámparas más nuevas en comparación con modelos tradicionales. Sin embargo, los tipos de lámparas con alto contenido de mercurio siguen en el mercado y pueden venderse en grandes cantidades debido a que suelen ser más baratas que las lámparas con bajo contenido de mercurio. Todavía no hay en el mercado alternativas sin mercurio para este tipo de lámparas, con cualidades similares de ahorro de energía; no obstante, se está trabajando en su desarrollo (COWI, 2002). Hay otras fuentes de luz con contenido de mercurio: lámparas especiales para fotografía, análisis químicos (espectrometría de absorción atómica), esterilización ultravioleta y luces posteriores para los monitores planos de las computadoras (y seguramente para las pantallas de los televisores).



820. El mercurio elemental se introduce al tubo durante el proceso de manufactura y actúa como una fuente multifotón, produciendo luz ultravioleta cuando la corriente eléctrica atraviesa el tubo. El mercurio de las lámparas fluorescentes tiene básicamente dos composiciones químicas distintas: mercurio elemental en fase de vapor y mercurio divalente adsorbido en el polvo fosforoso, los extremos metálicos de la lámpara u otros componentes. La cantidad de mercurio necesario en forma de vapor para la descarga que dé energía a la lámpara es de 50 microgramos, alrededor de 0.5 a 2.5% del total que se deposita en la lámpara durante su fabricación (Dunmire *et al.*, 2003). Con el tiempo, el mercurio dentro del tubo reacciona al polvo fosforoso que recubre la superficie interior y pierde eficacia. Por lo tanto, debe haber suficiente mercurio elemental dentro de la lámpara para que al menos 50 microgramos en forma de vapor estén ahí incluso al final de la vida útil del dispositivo (por lo general, 5 años de uso en tubos lineales de servicio comercial, aproximadamente igual para lámparas CFL en uso residencial). Al final de la vida de la lámpara, la mayor parte del mercurio se encuentra en estado divalente. Según Floyd *et al.*, 2002 (citando a NEMA, 2000), 99% del mercurio en las lámparas una vez dispuestas se encuentra incrustado en el polvo que recubre el tubo.

821. Antiguamente, los fabricantes añadían mercurio en cantidad suficiente para asegurar un suministro adecuado de mercurio en el tubo a lo largo de su vida útil. Los recientes avances en el desarrollo de tubos fluorescentes han permitido a los fabricantes reducir la cantidad necesaria de mercurio para garantizar la vida útil del producto (Bleasby, 1998, citado en Environment Canada, 1999).

### 5.5.3.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

822. En Norteamérica (Estados Unidos, Canadá y México), las liberaciones de mercurio debidas a la inadecuada disposición de tubos de luz fluorescente han caído sustancialmente en los últimos diez años gracias a los programas de reciclaje y a cambios en las tecnologías para su diseño (Environment Canada, 1999).

Tabla 5-111 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de fuentes de luz con mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción	X	x	x	X		X
Uso	x	x	x			
Disposición	X		X		X	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

823. Las emisiones de mercurio a partir de la fabricación de lámparas fluorescentes pueden ocurrir durante las operaciones de manejo de mercurio y producción de lámparas. Entre las operaciones de manejo que pueden producir emisiones de vapor de mercurio destacan la purificación y la transferencia de mercurio, y la reparación de diversas partes. En el proceso de producción pueden registrarse emisiones de mercurio a partir de las operaciones de inyección o cuando se rompen lámparas o hay derrames accidentales, así como a partir de diversos materiales de desecho. (US EPA, 1997a).

824. Puesto que el mercurio está contenido en un tubo de vidrio sellado, no se consideran liberaciones durante su uso normal. No se encontraron estimados de liberaciones. Las lámparas pueden romperse durante el uso, pero es más probable que se rompan una vez reemplazadas, durante su almacenamiento temporal antes de ser propiamente desechadas. Al romperse, pueden liberar mercurio elemental, mercurio líquido y polvo fosforoso con mercurio adsorbido. Además, es posible que se libere mercurio a partir de los trocitos de vidrio y otros componentes de la lámpara, los cuales estarán contaminados con mercurio a menos que se les maneje adecuadamente (NJ MTF, 2002).

825. Las liberaciones de mercurio por disposición de lámparas dependen del método empleado. En muchos países hay sistemas para la recolección de lámparas con mercurio con fines de reciclaje. Las lámparas recogidas pueden procesarse para el reciclado del polvo fosforoso que contiene mercurio y usarse para la producción de nuevas lámparas, o bien las lámparas recogidas pueden procesarse para recuperar el mercurio contenido en dicho polvo. En algunos países el polvo recogido puede desecharse en rellenos sanitarios sin recuperar el mercurio. Durante el reciclaje, puede liberarse mercurio durante el corte/prensado de lámparas o a partir de la recuperación del mercurio en el polvo. Muchas de las lámparas desechadas en rellenos sanitarios se romperán por la disposición y el vapor de mercurio se liberará inmediatamente a la atmósfera. La mayor parte del mercurio en las lámparas se limita al polvo fosforoso y se liberará lentamente. Durante la incineración de las lámparas la mayor parte del mercurio se evaporará y quedará atrapada en los controles de contaminación o será emitida a la atmósfera.

### 5.5.3.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-112 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de las fuentes de luz con mercurio

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción	Consumo total anual de mercurio para la producción de lámparas o Número de lámparas de mercurio producidas por año, por tipo de lámpara	(irrelevante) o mg de mercurio por lámpara, por tipo de lámpara
Uso	Número de lámparas de mercurio suministradas por año, por tipo de lámpara	mg de mercurio por lámpara, por tipo de lámpara
Disposición	Número de lámparas de mercurio suministradas por año (hace 5-10 años), por tipo de lámpara	mg de mercurio por lámpara (hace 5-10 años), por tipo de lámpara

826. El contenido de mercurio de las lámparas según su tipo se usa como factor de entrada en todas las etapas del ciclo de vida. La tabla 5-113 muestra ejemplos del contenido de mercurio en lámparas. En general, se ha disminuido la cantidad de mercurio en tubos fluorescentes en el mundo occidental y actualmente está en el rango (tubos fluorescentes de doble extremo) de 3 a 46 mg por tubo.

827. La industria estadounidense ha reportado que el contenido promedio de mercurio en lámparas de cuatro pies se ha reducido de 48 mg en 1985 a 42 mg en 1990, 23 mg en 1994 y 12 mg en 1999 (NEMA, citado en NJ MTF, 2002). La mayoría de las lámparas fluorescentes en servicio en Estados Unidos en años recientes son lámparas T12 (diámetro aproximado de 3.3 cm), cuyo contenido promedio de mercurio es 22 mg (NJ MTF, 2002). Las lámparas T8 (diámetro aproximado de 2.2 cm), diseñadas para un mejor aprovechamiento energético, también contienen menos mercurio (alrededor de 14 mg) (MTF, 2002). Sin embargo, desde 1995 el contenido de mercurio en lámparas T12 y T8 se ha reducido debido a la introducción de focos “de bajo nivel de mercurio”, cuyo contenido de mercurio es inferior a los 10 mg (NJ MTF, 2002). En Canadá, el contenido promedio de mercurio en lámparas fluorescentes cayó de 48.2 mg en 1985 a 27.0 mg en 1995 y la industria se propuso reducirlo aún más para alcanzar la cifra de 15.0 mg en el año 2000 (Environment Canada, 1999).

828. En la Unión Europea se ha reducido el promedio en tubos fluorescentes de 15 mg en 1997 a 10 mg en 2001 (Floyd *et al.*, 2002). El contenido promedio en tubos fluorescentes compactos fue de 5 mg tanto en 1997 como en 2001.

#### i) Producción

829. En Estados Unidos se compraron 30 toneladas de mercurio en 1995 para la manufactura de lámparas eléctricas, entre ellas lámparas fluorescentes, de vapor de mercurio, de metal halógeno y de

sodio de alta presión (Plachy, 1996, citado en US EPA, 1997a). Las lámparas no contienen todo el mercurio comprado para el proceso de producción; la mayor parte del mercurio no retenido en las lámparas se lleva a recicladores para su purificación y reutilización. Sin embargo, una pequeña parte de las entradas de mercurio se pierde al ambiente durante el proceso de producción. En 1994, 15.7 toneladas métricas de las 27 toneladas métricas de mercurio compradas estaban en las lámparas (NEMA 1996, citado en US EPA, 1997a).

830. En la Unión Europea se usaron 5.9 toneladas de mercurio para la producción de lámparas que contienen ese metal; de ahí, 4.0 toneladas se usaron para la producción de tubos fluorescentes de doble extremo, el resto para la producción de otros tipos de lámparas (Floyd *et al.*, 2003).

## ii) Uso

831. Las liberaciones de mercurio al romperse las lámparas antes de ser desechadas pueden calcularse a partir del consumo nacional de lámparas con mercurio y el porcentaje calculado de lámparas que se rompen antes de dejar de servir. Las cifras relativas al consumo de lámparas pueden obtenerse mediante contacto directo con los principales proveedores o consultando las estadísticas comerciales del país. Más adelante se presentan cálculos sobre las tasas de rompimiento.

## iii) Disposición

832. Las entradas de mercurio al proceso de disposición son el contenido de mercurio en las fuentes de luz tal como se suministran, multiplicado por el número de artículos consumidos unos cuantos años antes (algunos años de vida útil, dependiendo del tipo y uso). Esto es importante porque las concentraciones de mercurio en las fuentes de luz pueden haber cambiado en años recientes en muchos países. Si no se dispone de datos históricos, pueden usarse datos de entrada para la producción actual como base de cálculo de años previos. NJ MTF (2002) espera que las lámparas desechadas hoy tengan alrededor de cinco años (NJ MTF, 2002). Skårup *et al.* (2003) calculan que la vida útil de las fuentes de luz fluorescentes es de 8 a 10 años en Dinamarca.

833. La tabla 5-113 presenta ejemplos de contenido de mercurio en fuentes de luz por tipo y región (origen de datos).

Tabla 5-113 Ejemplos de contenido de mercurio en Fuentes de luz en mg de mercurio por artículo, por tipo y origen de los datos

Tipo de fuente de luz	Contenido de mercurio en fuente de luz (mg de Hg/artículo)	País/región de origen de los datos	Observaciones
Tubos fluorescentes (extremo doble)	15 (1997)	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002
	10 (2002)		
	15-45	Rusia	Yanin, 2004
	10-22	EE.UU.	DiFrancesco y Shinn, 2002
	23-46	Canadá	Environment Canada, 2003a
	3-4	Mundial	Contenido más bajo en el mercado, a partir de la información de los fabricantes
Lámpara fluorescente compacta (CFL extremo sencillo)	5	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002
	10	Canadá	Environment Canada, 2003a
	12-30	Rusia	Yanin, 2004
Vapor de mercurio a alta presión	30	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002

Tipo de fuente de luz	Contenido de mercurio en fuente de luz (mg de Hg/artículo)	País/región de origen de los datos	Observaciones
Lámparas de descarga a alta presión	38	Rusia	Yanin, 2004
Lámparas de sodio a alta presión	30	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002
	9	Rusia	Yanin, 2004
Luz UV para bronceado	25	Dinamarca	Maag <i>et al.</i> 1996
	5	Rusia	Yanin, 2004
Lámparas de metal halógeno	25	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002
	24	Rusia	Yanin, 2004

#### 5.5.3.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

##### i) Producción

834. Con base en los datos estadounidenses para el año 1994, se compró un total de 27 toneladas métricas de mercurio para la fabricación de lámparas en cuatro instalaciones. Las lámparas terminadas contenían alrededor de 15.7 toneladas métricas de ese mercurio. La mayor parte del resto del metal regresó a procesos de reciclaje. Una de las instalaciones reportó emisiones de 0.21 toneladas para 1994 y el total de emisiones registradas en ese año en las cuatro fábricas se calculó en 0.4 toneladas de mercurio (US EPA, 1997a). Probablemente las emisiones del año 1995 tuvieron una magnitud similar (alrededor de 0.4 toneladas).

835. No se han identificado controles complementarios en estas instalaciones de producción. Sin embargo, se aplican métodos para mantener bajos niveles de mercurio, como la contención, la ventilación del aire, el control de la temperatura y el aislamiento. Las liberaciones de mercurio puede ocurrir durante operaciones de manejo, como la purificación y la transferencia de mercurio, y la reparación de diversas partes. En el proceso de producción pueden registrarse emisiones de mercurio a partir de las operaciones de inyección o cuando se rompen lámparas o hay derrames accidentales, así como a partir de diversos materiales de desecho (US EPA, 1997a).

##### ii) Uso

836. Floyd *et al.* (2002) calculan que 5% de las lámparas se rompen antes de ser desechadas. A partir de la información que reporta un 99% de mercurio en las lámparas incrustado en el recubrimiento del tubo, los autores calculan que un máximo de 5% del mercurio en las lámparas rotas se libera a la atmósfera y el 95% restante, contenido en el polvo fosforoso, se recoge y deposita con los desechos sólidos municipales.

837. La US EPA (1997c) comenta diversos estimados respecto a las tasas generales de emisiones atmosféricas a partir de las lámparas rotas. Los estimados están en un rango aproximado de 1.2-6.8 % del total del contenido de mercurio y la US EPA supone un estimado central de 3% de mercurio total. También se aborda la cuestión relativa a la migración de mercurio en el polvo fosforoso. Los estudios han demostrado que en el caso de una lámpara rota no cubierta, las emisiones durante un período de 20 días alcanzaron un total de 1.28 mg del contenido total calculado en 42 mg, es decir, alrededor de 3% del contenido total de mercurio en la lámpara.

838. Barr (2001) supone que 5% del mercurio suministrado con las lámparas se emite al aire debido a su rompimiento en manos de los usuarios.

### iii) Disposición

839. El destino del mercurio usado en las lámparas depende de muchos factores, particularmente los métodos de disposición en cada país. En Estados Unidos, por ejemplo, se calcula que entre 13 y 15% de las lámparas desechadas se reciclan o depositan como desechos peligrosos, y que entre 85 y 87% se depositan como desechos sólidos municipales (DSM) (NEMA, 2000 y US EPA, 1997a, citado en NJMTF, 2002). A principios de la década de 1990, sólo se reciclaba alrededor de 2% de las lámparas en ese país (US EPA, 1994). Sin embargo, es probable que desde entonces el porcentaje reciclado haya aumentado significativamente en Estados Unidos.

840. El inventario estadounidense de liberaciones de mercurio calcula, a partir de un modelo que data de 1993, que 80% del contenido total de mercurio en lámparas desechadas se libera a la atmósfera debido a su rompimiento durante el transporte de los residuos. Este cálculo se basa en el supuesto de que todas las lámparas se rompen por la recolección y transportación de desechos.

841. Floyd *et al.* (2002) calculan, de la misma manera, que 6% del mercurio en las lámparas depositadas en los rellenos sanitarios será emitido cuando éstas se rompan. En la Unión Europea, 75% de las lámparas *depositadas con los desechos sólidos* llegan a un relleno sanitario, mientras que el 25% restante va a procesos de incineración.

842. La mayor parte del mercurio se captura cuando se trata de lámparas recicladas en sistemas efectivos y de ciclo cerrado. Se espera que muy poco mercurio se libere directamente al medio ambiente durante el proceso de reciclaje.

843. Alrededor de 700 millones de lámparas se desecharon en Estados Unidos en 1999. Ya que esas lámparas tenían alrededor de 5 años y probablemente contenían un promedio de 20 mg de mercurio, es posible calcular que aproximadamente 14 toneladas métricas de mercurio se desecharon en ese país en el citado año. Barr (2001) ha calculado que alrededor de 26 - 42% de ese mercurio se emitió al aire y el resto se liberó a la tierra (Barr, 2001). NJMTF calcula que entre 15 y 45% del mercurio en las lámparas desechadas va al aire.

844. Skårup *et al.* (2003) calculan que el ciclo de vida de las fuentes de luz fluorescente en Dinamarca es de 8 a 10 años.

845. En general, no se ha estudiado a fondo la emisión de largo plazo a partir del polvo fosforoso en los rellenos sanitarios, pero es probable que esta fuente contribuya a las emisiones de mercurio observadas en este tipo de depósitos (véase la sección 5.9).

#### 5.5.3.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

846. A partir de los ejemplos compilados hasta ahora, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

**a) Factores por defecto de entrada de mercurio**Tabla 5-114 Factores *preliminares* de entrada por defecto para, por tipo de fuente de luz

Tipo de fuente de luz	Contenido de mercurio en fuente de luz, mg de Hg/artículo (mín - máx)
Tubos fluorescentes (extremo doble)	10 - 40
Lámpara fluorescente compacta (CFL, extremo sencillo)	5 - 15
Vapor de mercurio a alta presión	30
Lámparas de sodio a alta presión	10 - 30
Luz UV para bronceado	5 - 25
Lámparas de metal halógeno	25

**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

847. No se establecieron factores de distribución de salidas por defecto en la producción de fuentes de luz debido a la falta de datos.

848. Ya que sólo se emiten cantidades muy pequeñas a la atmósfera debido al rompimiento de lámparas durante el uso y la mayor parte del mercurio de las lámparas rotas se desecha con otros residuos, no se definieron factores por defecto para la distribución de salidas en esta etapa.

849. En el caso de la disposición, las salidas son extremadamente dependientes de las prácticas de manejo de desechos en cada uno de los sectores en los que se usan fuentes de luz; los factores por defecto que se presentan a continuación son simplificaciones cuyo objetivo es evidenciar la posibilidad de salidas sustanciales de mercurio en cada una de las vías señaladas. Las cuantificaciones de las corrientes de desechos registradas en cada uno de los sectores dentro del país coadyuvarán a tener un cuadro más preciso de las salidas de mercurio en este grupo de productos. Si no se dispone de datos cuantitativos específicos, puede recurrirse a los factores de distribución que aparecen en la tabla.

850. Cabe señalar que la tabla únicamente distribuye las salidas de liberaciones directas al ambiente y las dos categorías de desechos mencionadas. El destino final del mercurio en los desechos depende en gran medida del escenario nacional/regional del tratamiento de desechos y los diseños para la reducción de emisiones. La sección 5.8, dedicada a la incineración de desechos generales, y la sección 5.9, dedicada a los rellenos sanitarios/la disposición, incluyen descripciones sobre estos temas.

851. También cabe señalar que en los factores por defecto de distribución de salidas de mercurio aquí mencionados, el vertido o la incineración informal de desechos se cuantifican como liberaciones directas al aire, la tierra y el agua, según corresponda. Es importante tener cuidado de evitar la duplicación contable si los cálculos de liberaciones de mercurio se hacen por separado para el vertido o la incineración informal de desechos.

Tabla 5-115 Factores **preliminares** de distribución por defecto en las salidas de mercurio para la producción, el consumo y la disposición de fuentes de luz

Etapa del ciclo de vida	Factores de distribución por defecto, porción de las entradas de Hg 2*				
	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento / disposición específicos por sector *1
<b>Uso y disposición (dependiendo de la situación real de manejo de desechos en el país):</b>					
No hay recolección separada de lámparas o ésta es muy limitada. Todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada	0.05			0.95	
No hay recolección separada de lámparas o ésta es muy limitada. Abunda la recolección informal de desechos generales o simplemente no existe *3	0.3		0.3	0.4	
Recolección separada de lámparas con altas tasas de recolección. Todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada	0.05			0.8	0.15

Notas: \*1 Reciclaje de polvo de luz con contenido de mercurio para lámparas nuevas o reciclaje de mercurio;

\*2 Las entradas de mercurio al uso y la disposición son las cantidades de mercurio en los tipos de lámparas, combinadas con las cantidades desechadas de los tipos respectivos de lámparas. Si se dispone de datos anuales de suministro para los 5 a 10 años previos (para el mismo tipo de lámparas), pueden usarse como aproximaciones de las cantidades desechadas;

\*3 La distribución entre el aire, la tierra y los desechos generales es artificial y sólo tiene por objetivo señalar la posibilidad de que cantidades significativas de mercurio sigan estas vías en países con manejo informal generalizado de desechos, como el vertido difuso y la incineración informal. Aquí, ese tipo de manejo de desechos se considera como liberaciones directas al ambiente.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

852. Las salidas estimadas de mercurio a desechos recolectados por separado y a desechos domésticos generales a partir de esta subcategoría **contribuyen** a las entradas de mercurio a rellenos sanitarios/depósitos (sección 5.9) y la incineración de desechos domésticos (sección 5.8).

#### 5.5.3.6 Datos principales por fuente

853. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Consumo de lámparas con contenido de mercurio, importaciones incluidas;
- Tendencias nacionales o regionales en concentraciones de mercurio en los diversos tipos de lámpara;
- Porción estimada de las lámparas suministradas que se rompen durante su uso, y
- Establecimiento y eficacia de los sistemas de manejo de desechos.

854. En general, la producción de fuentes de luz con contenido de mercurio se lleva a cabo en unas cuantas instalaciones de grandes dimensiones, y por lo tanto se recomienda un enfoque de fuente puntual para el cálculo de las liberaciones a partir de la producción siempre que sea posible.

855. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

## 5.5.4 Pilas con mercurio

### 5.5.4.1 Descripción de la subcategoría

856. El uso de mercurio en diversos tipos de pilas ha sido muy amplio y éstas representan uno de los productos emblemáticos que contienen mercurio. El mercurio se ha usado principalmente (o quizás exclusivamente) en pilas primarias, es decir, no recargables.

857. El mercurio se usa en altas concentraciones (alrededor de 30-32% w/w) en pilas de óxido de mercurio (a veces llamadas pilas de zinc-mercurio). En este tipo de pilas el óxido de mercurio sirve como electrodo positivo. Su venta en el mundo occidental probablemente se concentre en celdas de botón, pero también se venden en forma cilíndrica y de mayor tamaño. Actualmente la comercialización de pilas de óxido de mercurio está severamente restringida en varios países, aunque algunos usos específicos pueden contar todavía con excepciones (por ejemplo, usos militares en ciertos países). En Estados Unidos, por ejemplo, las pilas de óxido de mercurio están prohibidas, pero antes se usaban en equipos transistorizados, prótesis auditivas, relojes, calculadoras, computadoras, detectores de humo, grabadoras, fuentes de poder reguladas, medidores de detección de radiaciones, equipos científicos, radiolocalizadores, monitores de oxígeno y metal, y monitores portátiles de electrocardiograma (US EPA, 1997a).

858. En los otros tipos de pilas, el mercurio ha servido como modificador de reacciones, evitando el desarrollo de gas (y posterior rompimiento) durante el uso, además de actuar como inhibidor de la corrosión (US EPA, 1997a).

859. Antes, las celdas cilíndricas alcalinas en el mercado europeo tenían concentraciones de mercurio de hasta 1%. Debido a las restricciones ambientales en los grandes mercados europeos, se redujo el consumo de mercurio en este tipo de pilas y actualmente la mayoría de las marcas ofrecen productos sin adición intencional de contenido de mercurio. Sin embargo, algunas marcas comercializadas en la escala nacional o regional todavía tienen mercurio añadido.

860. La mayoría de las pilas con celda de botón de tipo alcalino, óxido de plata y zinc/aire todavía contienen mercurio (en concentración aproximada de hasta 1% w/w).

861. Hay otros tipos de pilas que en la actualidad se consideran sin mercurio. Cabe señalar que además de las meras ventas de pilas, no hay que olvidar la importación y exportación en cantidades considerables dentro de los empaques de otros productos, como aparatos electrónicos, juguetes, tarjetas de felicitación con sonido, etc.

### 5.5.4.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-116 Principales liberaciones y medios receptores a lo largo del ciclo de vida de las pilas con mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector
Producción	X	x	x	X		x
Uso						



<b>Etapa del ciclo de vida</b>	<b>Aire</b>	<b>Agua</b>	<b>Tierra</b>	<b>Productos</b>	<b>Desechos generales</b>	<b>Tratamiento/ disposición específicos por sector</b>
Disposición	<b>X</b>		<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X *1</b>

Notas: \*1 Las pilas que contienen mercurio y han sido recogidas por separado (o han sido clasificadas como tales) pueden depositarse en rellenos sanitarios especialmente asegurados;  
**X** - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### **i) Producción**

862. Los procedimientos laborales en la fabricación de pilas, particularmente pilas de óxido de mercurio, y las tasas de rechazo de producto, pueden constituir un importante factor en la determinación de la magnitud de las liberaciones.

863. Cabe destacar que muchos países no producen pilas, pero dependen de las importaciones.

### **ii) Disposición**

864. Las concentraciones efectivas de mercurio en las pilas suministradas revisten una importancia crucial para el tonelaje de mercurio liberado en esta categoría.

865. Para la categoría como tal, el consumo de pilas de óxido de mercurio es de particular importancia debido a su contenido relativamente alto de mercurio.

866. Además del contenido de mercurio, la existencia y eficacia de programas para la recolección de pilas, así como el patrón de manejo de desechos generales, constituyen los factores más importantes que inciden en las liberaciones de mercurio a partir de las pilas. La distribución del mercurio en pilas desechadas a las diferentes vías receptoras depende mucho de las prácticas para el manejo de desechos en cada país.

867. En algunos países se recolectan partes de las pilas usadas para el manejo seguro del mercurio (y del cadmio en otros tipos de pilas) y tal vez para su reciclaje. Con base en las experiencias del norte de Europa se considera que las tasas de recolección de 50% son altas; en muchos casos se recolecta una cantidad inferior, aun cuando se llevan a cabo importantes esfuerzos de difusión y recolección. En términos generales, se espera que las pilas recogidas por separado se depositen con un mayor grado de seguridad que los desechos domésticos. El reciclaje de pilas con mercurio probablemente no constituya un procedimiento masificado en la actualidad, aunque se algunos países están considerando poner en práctica un reciclaje más extenso de los materiales de las pilas.

868. Aun en países con programas de recolección de pilas gran parte de las pilas usadas se desechan con los desperdicios domésticos generales. En el caso de las pilas que se encuentran en desechos y llegan a rellenos sanitarios protegidos, parte del mercurio se liberará tan lentamente como se degrade el encapsulado, por evaporación gradual hacia la atmósfera, con una lenta lixiviación a las aguas residuales (o al agua subterránea si no el relleno sanitario no dispone de membrana) y tal vez finalmente en mayor escala si hay excavaciones (o incluso cambios climáticos/geológicos). La sección 5.9 contiene una descripción de los rellenos sanitarios/disposición. Cuando se trata de desechos no recolectados y perdidos de manera difusa o de vertederos no protegidos e informales, las pérdidas ocurren directamente a la tierra. La evaporación o biodegradabilidad real del mercurio contenido puede retrasarse varios años o incluso décadas, ya que se espera que la degradación del encapsulado sea un proceso lento.

869. En el caso de las pilas en desechos que llegan a procesos de incineración, parte del mercurio se liberará a la atmósfera, el resto permanecerá en los residuos sólidos de la incineración y, de existir

el proceso, en los residuos de la limpieza de los gases de salida, y posteriormente depositados en rellenos sanitarios u otros tipos de vertederos, como lo describe la sección 5.8. En el caso de la incineración informal de desechos, partes del mercurio se evaporarán y liberarán a la atmósfera, mientras que otras partes permanecerán en los residuos sólidos y se perderán a la tierra.

### 5.5.4.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-117 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de las pilas con mercurio

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción	Toneladas métricas de pilas producidas al año (en el país)	Kg de mercurio liberado por kg de mercurio en pilas producidas
Uso	No es necesario (liberaciones insignificantes)	No es necesario (liberaciones insignificantes)
Disposición	Toneladas métricas de pilas suministradas por año hace un lapso de vida útil de pila *1, de cada tipo de pila	Kg de mercurio por tonelada métrica de pilas suministradas de cada tipo

Notas: \*1: Como sustituto de las toneladas métricas desechadas cada año. Si hay buenos cálculos de las cantidades de baterías desechadas cada año, habrá de preferirse su uso. Cuando el consumo sea cambiante o haya iniciativas de sustitución con pilas sin mercurio, el suministro actual y la disposición actual diferirán entre sí.

#### Producción

870. En general, es probable que no se disponga de los datos de entrada de mercurio a la producción de las diferentes pilas que contienen este metal (a menos que se establezca un contacto directo con los fabricantes). El cálculo de liberaciones a partir de la producción como porcentaje del contenido esperado de mercurio en cada tipo de pila puede representar un enfoque más sencillo para obtener una cifra aproximada inicial. A continuación se presentan ejemplos sobre contenido de mercurio y liberaciones durante la producción.

#### Disposición

871. Las entradas de mercurio a la disposición son el contenido de mercurio en las pilas tal como fueron suministradas, multiplicado por el número de pilas (del mismo tipo) que se desechan. Cabe destacar que la disposición de mercurio con las pilas refleja el contenido de mercurio en pilas de años previos (plazos de vida útil de varios años, dependiendo del tipo y uso). Esto es importante, pues las concentraciones de mercurio en las pilas han cambiado en años recientes en muchos países. En caso de no disponer de datos históricos, las cifras de entrada del suministro actual pueden servir para lograr un cálculo aproximado.

872. La tabla 5-118 presenta ejemplos de contenido de mercurio en pilas por tipo y región (origen de datos).

Tabla 5.118 Ejemplos de contenido de mercurio en g por kg de pilas, por tipo y origen de los datos

Tipo de pila	Contenido de mercurio en la pila (kg de Hg/tonelada métrica de pilas)	País/región de donde provienen los datos	Observaciones
Óxido de mercurio (todos los tamaños); también llamadas pilas con celda de zinc-mercurio	320	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> (2002). La venta de pilas de óxido de mercurio está prohibida en la UE desde el año 2000.
Celdas de botón de zinc-aire	12.4	Unión Europea	Datos de EBPA (industria) citados por Floyd <i>et al.</i> (2002). Podría tratarse de valores promedio, ya que las concentraciones de mercurio pueden ser ligeramente variables. El contenido de mercurio en las celdas de botón superior a los 20 kg/tonelada métrica de pilas está prohibido en la UE desde el año 2000.
Celdas alcalinas de botón	4.5 - 10 *1	Unión Europea	Observaciones idénticas a las señaladas para zinc-aire. 10kg/tonelada métrica es un valor antiguo proveniente de Escandinavia (principios de la década de 1980).
Celdas de botón de óxido de plata	3.4 - 10 *1	Unión Europea	Observaciones idénticas a las señaladas para zinc-aire. 10kg/tonelada métrica es un valor antiguo proveniente de Escandinavia (principios de la década de 1980).
Alcalinas, de formas distintas a la celda de botón	"0" - 10 *1	Unión Europea	Hoy en día, la mayoría de las marcas internas no tienen mercurio, aunque todavía existen algunas marcas de pilas alcalinas con mercurio comercializadas nacional o regionalmente. Las celdas alcalinas de forma distinta al botón con contenido de mercurio superior a 0.25 kg/tonelada métrica de pilas están prohibidas en la UE desde el año 1993, y el contenido superior a 0.005 kg/tonelada métrica está prohibido desde el año 2000.

Notas: \*1: 10 kg/tonelada métrica es un valor anterior de Escandinavia (principios de la década de 1980). Aquí se usa para ilustrar valores máximos potenciales en marcas de pilas fabricadas con tecnología antigua.

#### 5.5.4.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

##### Producción

873. La US EPA (1997a) reporta un ejemplo tomado de una instalación de óxido de mercurio donde el aire de ventilación en los cuartos de producción se pasaba por filtros de tela para retención de partículas y por un filtro de carbón vegetal, donde sólo 0.1% (1 g/kg) del mercurio usado en la producción se liberaba a la atmósfera. Es de suponer que cantidades adicionales de mercurio se desechaban con los materiales usados de los filtros, pero no hay reportes al respecto. La US EPA advierte de la necesidad de tomar el ejemplo con precaución en vista de la cuestionabilidad de la calidad de los datos y porque otros fabricantes de pilas podrían no contar con equipos parecidos para la reducción de emisiones.

874. Se cuenta con otro ejemplo tomado de Rusia, donde hasta alrededor de 27% del mercurio usado para la producción de pilas de óxido de mercurio se perdía durante la manufactura, con

productos rechazados y otros desechos sólidos (24%), con liberaciones a las aguas residuales (2%) y a la atmósfera (1%); (Lassen *et al.*, 2004).

875. En lo que respecta a la producción de otros tipos de pilas con contenido mucho menor de mercurio, los porcentajes de liberación podrían parecerse a los correspondientes a la producción de pilas de óxido de mercurio.

## ii) Disposición

876. Se calcula que entre 20 y 30% del consumo de celdas de botón se recogió de manera separada en Dinamarca en 2001, mientras que el número fue aún más alto (entre 30 y 60%) para las pilas alcalinas de mayor tamaño (Hansen y Hansen, 2003). Se esperaba que las otras partes de las pilas se desecharan con los residuos domésticos, la mayor parte de los cuales termina en procesos de incineración. En Dinamarca, el vertido difuso o informal de desechos y la incineración se consideran insignificantes. La disposición de mercurio con pilas refleja el contenido de mercurio en estos productos en años previos, por lo que el óxido de mercurio siguió representando la mayoría de las liberaciones/desechos de mercurio en pilas en Dinamarca en 2001 (después de que se prohibiera la venta de óxido de mercurio en 2000; Skårup *et al.*, 2003). La eficacia de la recolección de todo tipo de pilas en los Países Bajos puede calcularse entre 50 y 70% de su potencial, dependiendo de la forma en que se estime dicha eficacia. La (gran) municipalidad de Göteborg en Suecia también reportó tasas de recolección a este nivel o ligeramente inferior (según Hansen y Hansen, 2003). Es probable que estos ejemplos reflejen las mayores tasas de recolección de entre los actuales esquemas de recolección de pilas.

### 5.5.4.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

877. A partir de los ejemplos compilados hasta ahora, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

Tabla 5-119 Factores preliminares de entrada por defecto para el mercurio, por tipo de pila

Tipo de pila	Contenido de mercurio en la pila (kg de Hg/tonelada métrica de pilas)
Óxido de mercurio (todos los tamaños); también llamadas pilas con celda de zinc-mercurio	320
Celdas de botón de zinc-aire	12
Celdas alcalinas de botón	5
Celdas de botón de óxido de plata	4
Alcalinas, de formas distintas a las de celda de botón	0.25 *1

Notas: \*1 Es probable que deba usarse un factor de entrada de 0.005 kg/tonelada métrica en países de la UE.

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

878. Es necesario señalar que los factores de salidas para la producción de pilas sólo son relevantes en aquellos países donde hay producción nacional. Las entradas a la producción son, en realidad, las compras de mercurio para la producción (parte del cual se pierde durante el proceso de manufactura),

pero pueden calcularse a partir de las concentraciones en las pilas combinadas con datos sobre los volúmenes de producción.

879. En el caso de la disposición, las cuantificaciones de las corrientes de desechos reales en el país coadyuvarán a tener un cuadro más preciso de las salidas de mercurio en este grupo de productos. Si no se dispone de datos cuantitativos específicos, puede recurrirse a los factores de distribución que aparecen en la tabla; constituyen simplificaciones limitadas a indicar tendencias principales, establecidas con el ánimo de señalar la posibilidad de liberaciones sustanciales a estas vías.

880. Cabe señalar que la tabla únicamente distribuye las salidas de liberaciones directas al ambiente y las dos categorías de desechos mencionadas. El destino final del mercurio en los desechos depende en gran medida del escenario nacional/regional del tratamiento de desechos y los diseños para la reducción de emisiones. La sección 5.8, dedicada a la incineración de desechos generales, y la sección 5.9, dedicada a los rellenos sanitarios/la disposición, incluyen descripciones sobre estos temas.

881. También cabe señalar que en los factores por defecto de distribución de salidas de mercurio aquí mencionados, el vertido o la incineración informal de desechos se cuantifican como liberaciones directas al aire, la tierra y el agua, según corresponda. Es importante tener cuidado de evitar la duplicación contable si los cálculos de liberaciones de mercurio se hacen por separado para el vertido o la incineración informal de desechos.

**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

882. Las salidas estimadas de mercurio a desechos recolectados por separado y a desechos domésticos generales a partir de esta subcategoría **contribuyen** a las entradas de mercurio a rellenos sanitarios/depositos (sección 5.9) y la incineración de desechos domésticos (sección 5.8).

Tabla 5-120 Factores *preliminares* de distribución por defecto en las salidas de mercurio para la producción y la disposición de pilas

Etapas del ciclo de vida	Factores de distribución por defecto, porción de las entradas de Hg				
	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento / disposición específicos por sector
<b>Producción *2</b>	0.005	0.005	?	?	0.01
<b>Uso y disposición (situación real de manejo de desechos en el país) *4:</b>					
No hay recolección separada de pilas o ésta es muy limitada. Todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada				1	
No hay recolección separada de pilas o ésta es muy limitada. Abunda la recolección informal de desechos generales o simplemente no existe	0.25		0.25	0.5	
Recolección separada de pilas con altas tasas de recolección. Todos o casi todos los desechos generales se recogen y manejan de manera abiertamente controlada				0.6	0.4 *1

Notas: \*1 En el caso de las pilas con celda de botón, esta categoría comúnmente se referirá a depósitos especiales con importantes medidas de seguridad contra liberaciones de mercurio;

\*2 Salidas en porción de cantidades de mercurio en pilas producidas. Cabe señalar que los factores de salida para la producción de pilas sólo son relevantes en países con producción nacional;

\*3 Altas tasas de recolección para pilas combinadas con un alto grado de manejo desechos generales

informales no se considera una combinación relevante, pues la recolección por separado suele constituir un paso avanzado después de las normas generales;

\*4 Las entradas de mercurio a la disposición son el contenido de mercurio en los tipos de pilas, combinado con las cantidades desechadas de los respectivos tipos de pilas. Si se dispone de datos de suministro anual de algunos años previos (para el mismo tipo de pilas), es posible usarlos como aproximaciones a las cantidades desechadas.

#### 5.5.4.6 Datos principales por fuente

883. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Consumo de pilas de óxido de mercurio, sin olvidar las importaciones (así como las importaciones incorporadas en otros productos, como juguetes, tarjetas de felicitación, etc.)
- Tendencias nacionales o regionales respecto a las concentraciones de mercurio en otras pilas (marcas locales, normatividad nacional/regional, etc.), y
- Establecimiento y eficacia de sistemas para el manejo de desechos.

884. En lo que respecta a las pilas de óxido de mercurio, no es raro enfrentar el problema de que las estadísticas comerciales nacionales sean considerablemente imprecisas, ya que estas pilas suelen venderse en pequeñas cantidades y por lo tanto son muy vulnerables a la clasificación errónea al lado de otras pilas en los informes de los comerciantes ante las autoridades de estadística. Este hecho tiene consecuencias, pues incluso las ventas moderadas de pilas de óxido de mercurio reportadas pueden representar una facturación de mercurio que excede, por mucho, el consumo total de mercurio con otros tipos de pilas.

885. En general, la producción de pilas se lleva a cabo en unas cuantas instalaciones de grandes dimensiones, y por lo tanto se recomienda un enfoque de fuente puntual para el cálculo de las liberaciones a partir de la producción siempre que sea posible.

886. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

### 5.5.5 Biocidas y pesticidas

#### 5.5.5.1 Descripción de la subcategoría

887. Muchos compuestos de mercurio son tóxicos a los microorganismos y se han usado como biocidas en la industria papelera (limocidas en el proceso de producción, véase la sección 5.3.2), en pinturas (comentadas por separado en la sección 5.5.6) y en cereales de siembra y otras aplicaciones agrícolas. En muchos países se han descontinuado o prohibido estos usos (PNUMA, 2002).

888. Uno de los principales usos de compuesto de mercurio como biocidas se encuentra en el recubrimiento de semillas. El uso de granos con recubrimiento de semillas a base de mercurio para hornear pan fue la causa de dos graves incidentes de intoxicación por mercurio en Irak hace algunas décadas (PNUMA, 2002).

889. La manufactura de pesticidas organomercúricos en la antigua Unión Soviética empezó en 1955 con una producción de 5 toneladas métricas/año, alcanzando un máximo de 200 toneladas métricas/año hacia 1960 (Lassen *et al.* 2004). La producción en la Federación Rusa se ha detenido, pero se calcula que en años recientes se han usado entre 20 y 40 toneladas métricas de reservas (Lassen *et al.*, 2004). El principal compuesto es el cloruro de etil mercurio, cuyo contenido de mercurio en pesticidas es de 1.9-2.3%, pero se han empleado 14 compuestos diferentes como pesticidas en el país.

890. En Australia, un producto líquido fungicida contiene 120 g/l de mercurio como cloruro metoxi-etil mercúrico para controlar la enfermedad de la piña en caña de azúcar (PNUMA, 2002).

891. El uso de pesticidas orgánicos mercúricos en 1999-2000 en la India, según lo reportado por la Dirección de Protección Fitosanitaria, fue de 85 toneladas métricas (Wankhade, 2003). En el período 1995-2000 no se reportó producción, importación o exportación que indicara que los pesticidas consumidos provinieran de reservas (Wankhade, 2003). Antes se usaban diversos pesticidas a base de mercurio en la India, pero en la actualidad se ha prohibido el uso de la mayor parte de ellos.

### 5.5.5.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-121 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de los biocidas y pesticidas que contienen mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción	?	?	?	X	?	?
Uso (pesticidas)	X	X	X		x	x
Disposición		x	X		x	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente;  
 ? - Pueden ocurrir liberaciones, pero no se dispone de datos al respecto.

892. No se dispone de datos relativos a las posibles liberaciones de mercurio a partir de la producción de biocidas a base de mercurio.

893. En el caso del uso como biocida/pesticida, los factores más determinantes de liberaciones son la concentración de mercurio en los productos usados y la forma en que se aplican dichos productos. Ya que los pesticidas pueden tener un uso dominante (además de las pinturas, véase la sección 5.5.6), las indicaciones de vías de liberación que ofrece la tabla 5-121 se refieren a ese uso. Si bien la mayor parte del producto en uso terminará en la tierra, otra parte tiene probabilidades de acabar en el agua a través de la disposición de las cantidades no usadas, el lavado de los equipos usados, la lixiviación a las aguas subterráneas y en los residuos líquidos escurridos hacia las aguas superficiales. Los productos que no se han usado, como las reservas de pesticidas obsoletos, pueden perderse de manera difusa o desecharse con los residuos normales o mediante programas especiales de disposición.

### 5.5.5.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-122 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de biocidas y pesticidas

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Uso como pesticida	Cantidad de pesticidas usados	Concentración de mercurio en los pesticidas usados

894. Además de los datos ya proporcionados, no se encontraron datos sobre las concentraciones de mercurio en pesticidas y otros usos de tipo biocida que no fueran pinturas y productos farmacéuticos (véanse las secciones 5.5.6 y 5.5.7 respectivamente).

#### 5.5.5.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

895. En algunos países se almacenan cantidades importantes de pesticidas obsoletos en haciendas y bodegas que no disponen de las condiciones adecuadas.

896. Se supone que la cantidad de pesticidas con contenido de mercurio que se encuentran almacenados en bodegas (sin incluir rellenos sanitarios) y que requieren ser destruidos o almacenados en rellenos especiales en la Federación Rusa supera las 1,000 toneladas métricas, conteniendo alrededor de 20 toneladas métricas de mercurio (Lassen *et al.*, 2004).

#### 5.5.5.5 Factores por defecto de entrada y de distribución de salidas

897. No se definieron factores por defecto en esta categoría de fuente debido a la falta de datos. Se recomienda la recopilación de datos específicos en países donde se usan pesticidas/biocidas.

### 5.5.6 Pinturas

#### 5.5.6.1 Descripción de la subcategoría

898. Antiguamente solía añadirse acetato fenilmercurico y otros compuestos de mercurio parecidos a las pinturas a base de agua como biocidas, y tal vez sigan añadiéndose en algunos países. El propósito de estos compuestos era extender la vida útil de almacenamiento al controlar la fermentación bacteriana dentro de la lata (conservadores al interior de la lata) y retardar los ataques siccóticos en superficies pintadas en entornos húmedos (fungicidas).

899. En Estados Unidos se puso fin al uso de biocidas de mercurio en pinturas en 1991. Antes de dicha prohibición, en ese país se usaban compuestos de mercurio en 25 a 30% de todas las pinturas de látex (no se usaba en pinturas a base de aceite), y en 20 a 35% de las pinturas exteriores de látex (Heier, 1990).

900. En la Evaluación Mundial del Mercurio (PNUMA, 2002), Tailandia reporta que menos de 25% de las fábricas de pintura en el país todavía usan mercurio como aditivo en el proceso y en cantidades inferiores a 0.5% del peso total. Es probable que el mercurio se use como conservador en las pinturas fabricadas en otras naciones, pero se desconoce la situación respecto a la producción de pinturas a base de mercurio y su uso en otros países.

901. Además, los compuestos inorgánicos de mercurio de baja solubilidad se usaban antes como aditivos en recubrimientos y pinturas marinas a fin de evitar la contaminación de los cascos de los buques por bacterias y otros organismos marinos. A mediados de la década de 1970 se discontinuó este uso (US DOC, citado en NJ MTF, 2002).

#### 5.5.6.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-123 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de las pinturas que contienen mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector
Producción *1	x	x	x	<b>X</b>	x	x
Uso	<b>X</b>	x			x	
Disposición					x	x

Notas: \*1 Es probable que haya liberaciones de mercurio a partir de la producción de pinturas y los ingredientes que las conforman, pero no se dispone de datos para describirlas. Las liberaciones durante la etapa de uso son mucho más probables y tal vez sean mayores, pues se espera que la



- mayoría de los compuestos de mercurio usados sigan a las pinturas como producto;
- X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;
- x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

902. No se dispone de datos para describir las posibles liberaciones de mercurio a partir de la producción de pinturas.

903. Algunos estudios sugieren que cuando se aplicaron pinturas con contenido de mercurio, las superficies pintadas liberaron mercurio elemental al aire (US EPA, 1992 y Agos *et al.*, 1990). NJ MTF (2002) reporta que el aire constituye el principal medio receptor de este tipo de liberaciones (NJ MTF, 2002). Se ha calculado que la vida media del mercurio en estas pinturas es de alrededor de un año, es decir, la mitad del contenido de mercurio se libera cada año (NJMTF, 2002). Las liberaciones provenientes de las pinturas en Estados Unidos (y tal vez otros países) fueron significativas hasta años recientes. Alrededor de 227 toneladas métricas de acetato fenilmercúrico y otros compuestos de mercurio se usaron anualmente en la fabricación de pinturas en ese país entre mediados de la década de 1960 y 1991. Suponiendo que todo el mercurio usado en esas pinturas es finalmente liberado al medio ambiente y que la vida media es de aproximadamente un año, es posible calcular que entre fines de la década de 1960 y principios de la década de 1990, alrededor de 227 toneladas métricas de mercurio fueron liberadas cada año al medio ambiente en Estados Unidos debido a dichas pinturas. Sin embargo, dada la relativamente corta vida media de las pinturas y dado que su uso se prohibió a partir de 1991, se supone que las liberaciones actuales a partir de esta fuente en Estados Unidos sean bastante bajas (en NJ MTF, 2002 se encuentra un debate y análisis más amplio del tema).

**5.5.6.3 Discusión de las entradas de mercurio**

*Tabla 5-124 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de las pinturas con mercurio*

<b>Etapas del ciclo de vida</b>	<b>Datos necesarios de la tasa de actividad</b>	<b>Factor de entrada de mercurio</b>
Uso y disposición	Consumo de pinturas con contenido de mercurio en toneladas métricas por año	Concentración de mercurio en las pinturas usadas; g de mercurio por toneladas métricas de pintura

904. Los datos más importantes que se requieren para calcular las liberaciones provenientes de las pinturas serían las cifras sobre la concentración de mercurio en las pinturas usadas, el tiempo (los años) en que se usaron y una indicación sobre la rapidez con la que el mercurio se libera a partir de las pinturas aplicadas (por ejemplo, la vida media del mercurio en las pinturas). Asimismo, es muy útil saber en qué año se puso fin al uso de estas pinturas, si así fue, en el país que se esté estudiando.

905. La información sobre la concentración real de mercurio en las pinturas es escasa. Antes de la prohibición de 1991, la US EPA permitía que las pinturas de látex para interiores tuvieran un contenido menor o igual a 300 ppm (0.03%) de mercurio elemental y que las pinturas de látex para exteriores tuvieran un contenido menor o igual a 2000 ppm (0.2%; MMMW, 1990). Las concentraciones reales variaban; Husar y Husar citan una evaluación que reporta concentraciones de mercurio de 45 ppm en pinturas de látex para interiores y de 1,050 ppm en pinturas de látex para exteriores, cifras basadas en entrevistas con las empresas estadounidenses de pinturas en la década de 1990 (Husar y Husar, 2001).

906. En 1989 se registró un incidente de envenenamiento por mercurio en Estados Unidos en un lugar cuyas paredes habían sido pintadas con pintura de látex con contenido de mercurio de 930-955 ppm (MMWR, 1990).

907. Los informes Alphen (1998) de Australia reportan un aditivo para pinturas con contenido de 37 g de Hg/L; si se añade a la pintura conforme a las tasas recomendadas resultaría en 460 mg de Hg/L (Alphen, 1998). Asimismo, Alphen reporta que se encontraron pinturas con un exceso de 300 ppm de mercurio en un estudio limitado de pinturas en el sur de Australia. Como ya se señaló, Tailandia reporta que menos de 25% de las fábricas de pinturas en el país todavía usan mercurio como aditivo en el proceso de producción y en cantidades inferiores a los 5000 ppm (0.5%) por peso total. En Costa Rica, la regulación sobre el contenido de plomo y mercurio en pinturas fija un límite máximo de mercurio de 50 ppm (0.005 %) (PNUMA, 2002).

#### **5.5.6.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos**

908. Al aplicar las pinturas, una pequeña parte de ellas se descargará con las aguas residuales durante la limpieza de los equipos y la parte que quede en las latas se desechará con los residuos sólidos. Bass (2001) calcula que alrededor de 5% se descarga con las aguas residuales, 3% termina en los desechos sólidos municipales y el 92% restante se emite atmosféricamente después de la aplicación de la pintura.

909. Con una vida media reportada de un año prácticamente todo el mercurio se emitirá a partir de la pintura.

#### **5.5.6.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas**

910. Debido a la falta de datos, no se establecieron factores por defecto para la producción de pinturas y sus ingredientes.

911. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en el uso de pinturas en aquellos casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

912. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

#### **a) Factores por defecto de entrada de mercurio**

913. Los datos reales sobre niveles de mercurio en las pinturas usadas arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

914. Si no se dispone de más información sobre la concentración de mercurio en las pinturas, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-125 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y se espera que el factor máximo dé por resultado un estimado máximo.

Tabla 5-125 Factores *preliminares* de entrada por defecto para el mercurio en pinturas

Material	Factores de entrada por defecto; g de Hg/tonelada métrica de pintura; (mínimo - máximo)
Pinturas con biocidas a base de mercurio	300 - 5000

### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

915. Los factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio para el uso de pinturas se basan en los cálculos de Bass (2001), ya citados.

Tabla 5-126 Factores *preliminares* de distribución por defecto para el uso de pinturas

Etapa del ciclo de vida	Factores de distribución por defecto, porción de las entradas de Hg				
	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector *1
Uso de la pintura (aplicación y al aplicarse)	0.92	0.05		0.03	

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

916. No se sugieren enlaces.

#### 5.5.6.6 Datos principales por fuente

917. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Concentraciones de mercurio en las pinturas con contenido de mercurio usadas, y
- Cantidades de pinturas con contenido de mercurio usadas cada año.

## 5.5.7 Productos farmacéuticos de uso humano y veterinario

### 5.5.7.1 Descripción de la subcategoría

918. El mercurio se ha usado, básicamente como conservador, en diversos productos farmacéuticos, como vacunas, gotas oftálmicas, medicamentos a base de hierbas y otros productos (COWI, 2002). Por ejemplo, el timerosal/tiomersal (etil tiosalicilato) se ha usado durante décadas para evitar el crecimiento de diversos patógenos en las vacunas. El uso de mercurio en vacunas y gotas oftálmicas, además de otros productos farmacéuticos, ha disminuido considerablemente en años recientes (PNUMA, 2002). No obstante, su producción y uso sigue vigente, incluso en países occidentales. Las liberaciones pueden tener lugar durante la producción, el uso y la disposición de estos productos (PNUMA, 2002 y COWI, 2002).

919. De acuerdo con la información entregada por el gobierno australiano durante los preparativos de la Vigésima Tercera Sesión del Consejo de Administración del PNUMA y el uso de químicos de uso veterinario en la Evaluación Mundial del Mercurio (PNUMA, 2002), algunos de estos últimos contienen cloruro de mercurio (un producto), nitrato fenilmercurio (cinco productos) y etilmercuritiosalicilato de sodio (97 productos). En muchos de estos productos el compuesto mercurio no es el ingrediente activo (por ejemplo, algunas vacunas contienen cantidades menores de tiomersal, es decir, etilmercuritiosalicilato de sodio) y un “antiirritante” para caballos contiene cloruro

mercúrico a 3 g/L, su uso es tópico y sirve para tratar lesiones e hinchazón de las patas y padecimientos musculoesqueléticas.

920. Según Skårup *et al.* (2003), el mercurio todavía se usa como conservador en ciertas vacunas aplicadas en Dinamarca, en alrededor de la mitad de las vacunas contra la influenza aplicadas y en la vacuna contra la “encefalitis japonesa”. Las vacunas contra la influenza contienen 50 µg de timerosal por dosis (en Dinamarca, a diferencia de lo que ocurre en la mayoría de los países en desarrollo, las vacunas se suministran en unidades de dosis única). Gracias a esta ínfima cantidad por dosis, el consumo total de timerosal (compuesto de mercurio) en vacunas contra la influenza en Dinamarca (aproximadamente 5 millones de habitantes) es menor a 20g de mercurio/año.

921. El uso de compuestos de mercurio en vacunas puede ser mucho más predominante en otros países, tal vez con especial incidencia en países en desarrollo y otros países donde las vacunas se suministran en unidades de dosis múltiple, lo que incrementa la demanda de conservadores. Sin embargo, es muy probable que las cantidades de mercurio usado sean mínimas en comparación con otros usos de este metal, por ejemplo el registrado en empastes dentales, termómetros, válvulas para medir la presión sanguínea, pilas, etc.

Tabla 5-127 Otros ejemplos de productos farmacéuticos con contenido de mercurio

Producto farmacéutico/ compuesto de mercurio	Uso reportado	Referencia
Timerosal, C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> HgNaO <sub>2</sub> S	Conservador de amplio uso en productos farmacéuticos y vacunas	NIH, 2004
Acetato fenilmercúrico, C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> HgO <sub>2</sub>	Conservador en productos farmacéuticos	NIH, 2004
Nitrato fenilmercúrico, C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> HgNO <sub>3</sub>	Conservador en productos farmacéuticos	NIH, 2004
Mercurocromo	Tratamiento de cortadas	SH, 2004

922. Otro uso ancestral del mercurio en productos farmacéuticos se encuentra en medicamentos contra la sífilis. No obstante, no se han encontrado registros de uso actual para ese fin.

923. El mercurio contenido en los productos farmacéuticos se libera a través del cuerpo hacia las aguas residuales o la tierra, y los productos no usados pueden tratarse como desechos generales o peligrosos dependiendo de las prácticas predominantes de manejo de residuos.

924. No se intentó establecer factores por defecto de entrada o salida para esta subcategoría.

## 5.5.8 Cosméticos y productos relacionados

### 5.5.8.1 Descripción de la subcategoría

925. El mercurio se ha usado en cremas y jabones para aclarar la piel, y como conservador en algunos cosméticos para los ojos. Estos productos son raros o sencillamente no existen en algunos países; su producción y uso ha disminuido bastante en Occidente en décadas recientes. Sin embargo, en otros países tanto la producción como el consumo continúan. Las liberaciones pueden tener lugar durante la producción, el uso y la disposición de estos productos (PNUMA, 2002 y COWI, 2002).

### 5.5.8.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-128 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de los cosméticos y productos relacionados con contenido de mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción	?	?		X	?	
Uso		X				
Disposición					x	

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente;  
 ? - Es posible que haya liberaciones, pero no se dispone de datos al respecto.

### 5.5.8.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-129 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de los cosméticos y productos relacionados con contenido de mercurio

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Uso	Toneladas métricas de cosméticos con contenido de mercurio	g de mercurio por toneladas métricas de cosméticos usados

926. El jabón y la crema se aplican a la piel antes de dormir, se dejan secar y se retiran al día siguiente. Los jabones contienen hasta 3% de yoduro de mercurio ( $HgI_2$ ) y las cremas hasta 10% de mercurio amoniacal (OCDE, 1994).

927. El uso de cosméticos para aclarar la piel se ha popularizado en muchos países africanos. Aproximadamente 25% de las 210 mujeres encuestadas en Bamako, Malí, manifestó usar agentes aclaradores de la piel (Mahe *et al.*, 1993). De ellas, 11% usaba productos con contenido de mercurio, mientras que 16% usaba agentes de composición desconocida. En Dakar, Senegal, 53% de las 425 mujeres encuestadas se reconocieron como usuarias de algún agente blanqueador de la piel. 10% de los productos contenían yoduro de mercurio y 13% eran de composición desconocida (Guidice e Yve, 2002). En Lagos, Nigeria, 77% de los 440 comerciantes entrevistados (hombres y mujeres) manifestaron usar cosméticos para aclarar la piel (Adebajo, 2002). Los productos a base de hidroquinona resultaron ser los más populares, aunque también está generalizado el uso de productos corticosteroides y a base de mercurio.

928. En una encuesta aplicada a 536 mujeres en Lomé, Togo, los derivados de mercurio fueron el ingrediente activo de 31% de los cosméticos usados (Pitche *et al.*, 1997). En Kenia, se recolectaron y analizaron muestras de 14 tipos de jabón de baño en Kisumu (Harada *et al.*, 2001). Los jabones de manufactura europea analizados contenían entre 0.47 y 1.7% de mercurio (como yoduro de mercurio), mientras que el contenido de este metal en los jabones de producción nacional se encontraba en el nivel de contenido traza. Glahder *et al.* (1999) reportan el análisis de mercurio en tres marcas de jabones comprados en Tanzania. Según lo declarado en las etiquetas, los jabones contenían 2% de yoduro de mercurio. El contenido en las muestras analizadas fue de 0.69% (como mercurio); alrededor de 78% del contenido declarado.

929. En años recientes se ha prohibido el uso de cosméticos con contenido de mercurio en muchos países africanos, por lo que el uso generalizado de este tipo de productos podría no registrarse en algunos de los países antes citados.

930. El uso de jabón para el aclarado de la piel con contenido de mercurio bien podría existir en países europeos a pesar de la amplia prohibición de la UE. En el año 2000, la EPA de Dinamarca realizó un sondeo y encontró siete tipos de jabones con contenido de mercurio en el mercado danés (EPA Dinamarca, 2000). Los jabones contenían de 1 a 3% de yoduro de mercurio.

931. Antes se usaba una cantidad importante de mercurio para la producción de cosméticos europeos que eran exportados a otras regiones del mundo. Por citar un ejemplo, Irlanda importó 17 toneladas métricas de mercurio en 1999 para usarlas en la producción de jabones, posteriormente exportados como productos de la UE (Maxson, 2004). La producción de cosméticos con mercurio se prohibió en 2003 con base en el Anexo 5 de la Normativa de la UE para la aplicación del Convenio de Róterdam.

932. Es posible que se usen biocidas de mercurio en concentraciones muy bajas en algunos cosméticos para los ojos.

933. No ha sido posible encontrar cálculos del consumo total de mercurio con cosméticos en ningún país. El uso de cosméticos con contenido de mercurio constituye una cuestión de salud para los consumidores. En consecuencia, si bien puede resultar difícil obtener datos sobre las liberaciones en este uso y éstas probablemente sean menores si llegan a calcularse, las implicaciones del uso de los cosméticos para la salud ameritan atención prioritaria.

#### **5.5.8.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos**

934. No ha sido posible identificar evaluaciones sobre el destino del mercurio usado en cosméticos. Se supone que la principal vía de liberación es al agua durante el desmaquillaje y lavado. Es posible que una pequeña parte sea desechada con los residuos generales al quedar en los empaques.

#### **5.5.8.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas**

935. No se establecieron factores por defecto para la producción de cosméticos y sus ingredientes debido a la falta de datos. Por las mismas razones no fue posible establecer factores por defectos para otros cosméticos además de los productos para aclarar la piel.

936. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación al caso de las cremas y jabones para aclarar la piel cuando no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

937. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

#### **a) Factores por defecto de entrada de mercurio**

938. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en las cremas y los jabones arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

939. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en estos cosméticos, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-130 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones

varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto).

Tabla 5-130 Factores *preliminares* de entrada por defecto para cosméticos y productos relacionados con contenido de mercurio

Material	Factores de entrada por defecto; g de Hg/tonelada métrica de crema/jabón; (mínimo - máximo)
Cremas y jabones para aclarar la piel que tienen contenido de mercurio	10.000 - 50.000

**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

940. Los siguientes factores por defecto para la distribución de salidas de mercurio provenientes de cremas y jabones para aclarar la piel se basan en supuestos sobre su uso y disposición.

Tabla 5-131 Factores *preliminares* por defecto de distribución de salidas para el uso y la disposición de cosméticos que contienen mercurio

Etapa del ciclo de vida	Factores de distribución, porción de las entradas de Hg				
	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento /disposición específicos por sector
Uso y disposición de cosméticos con contenido de mercurio		0.95	0.05		

**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

941. No se sugieren enlaces.

**5.5.8.6 Datos principales por fuente**

942. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Concentraciones de mercurio en los cosméticos con contenido de mercurio usados, y
- Cantidades de cosméticos con contenido de mercurio usados cada año.

## 5.6 Otros usos deliberados en productos/procesos

Tabla 5-132 Otros usos deliberados en productos/procesos: subcategorías con principales vías de liberación de mercurio y enfoque de inventario recomendado

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho / residuo	Principal enfoque para inventario
5.6.1	Amalgamas dentales de mercurio	x	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	EG
5.6.2	Manómetros y medidores	x	<b>X</b>	x	<b>X</b>	<b>X</b>	EG
5.6.3	Químicos y equipos de laboratorio	x	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	EG
5.6.4	Uso de metal mercurio en rituales religiosos y medicina tradicional	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	EG
5.6.5	Usos de productos misceláneos, usos de metal mercurio y otras fuentes	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	EG

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
**X** - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.6.1 Amalgamas dentales de mercurio

#### 5.6.1.1 Descripción de la subcategoría

943. Los empastes dentales de amalgama consisten en una aleación de mercurio, plata, cobre y estaño (contenido típico de mercurio de 44 a 51% por ciento del peso). Los dentistas suelen obtener la aleación en alguna de las siguientes formas: 1) como mercurio puro junto a la mezcla en polvo del resto de los metales; el odontólogo pesa y mezcla los ingredientes en un agitador en su consultorio; 2) en cápsulas pequeñas con la fórmula adecuada de mercurio y polvo de metal, lista para mezclarse (en la cápsula, antes de abrirla) en la clínica antes de colocar el empaste (COWI, 2002). Es posible encontrar variaciones de estos principios.

944. El mercurio se libera al aire, el agua y los desechos durante la producción, el uso y la disposición de empastes de amalgama (por ejemplo, después de retirar empastes o dientes empastados durante procedimientos médicos/dentales, o bien cuando se caen los dientes). Además, puede haber liberaciones al final de la vida de una persona que lleva empastes. Por ejemplo, las amalgamas dentales son uno de los principales factores determinantes de liberaciones de mercurio en crematorios (véase la sección 5.10.1).

945. En las clínicas dentales se aplica parte de la amalgama mezclada, pero siempre sobra cierta cantidad o residuo, el cual suele recogerse para el desecho de residuos o bien para su reciclaje (especialmente debido al valor de la plata). Es común ajustar el empaste a la superficie, proceso que libera un poco de partículas de amalgama al sistema de aguas residuales. Asimismo, en la renovación rutinaria de empastes de amalgama se extrae el empaste viejo y algunas partículas llegan al sistema de aguas residuales. Por lo general, las partículas más grandes de amalgama quedan atrapadas en el filtro de malla del sistema de succión del agua y desde ahí pueden recogerse para su disposición como desechos o su reciclaje. En países con estrictas normas para el manejo de aguas residuales en clínicas dentales, éstas pueden contar con un filtro central adicional mucho más efectivo que el filtro de malla gruesa para retener la amalgama de mercurio presente en las aguas residuales. Además, los dientes con empastes de amalgamas pueden extraerse en la clínica y desecharse con los desechos generales, de manera separada como desechos peligrosos o enviarse a procesos de reciclaje. En Dinamarca, y tal vez en otros países, se envía un número importante de dientes extraídos a las escuelas de odontología como apoyo para la enseñanza práctica de la profesión (Maag *et al.*, 1996; Skårup *et al.*, 2003).



### 5.6.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-133 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de las amalgamas dentales de mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector *1
Producción/suministro de materiales para empastes				X		
Preparaciones y procedimientos en los consultorios dentales	x	X			X	X
Uso (en las bocas de las personas)		x				
Disposición		X			X	X

Notas: \*1: Recolección separada para tratar como desechos peligrosos/médicos o bien para su reciclaje;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

946. Podría haber liberaciones de mercurio durante el procesamiento/empaquetado de mercurio y cápsulas en las instalaciones de los productores/proveedores, pero es probable que se trate de liberaciones mínimas debido a lo sencillo del procesamiento. No se conoce el uso de controles de emisiones en el proceso de producción en Estados Unidos. En las clínicas dentales se liberan al aire pequeñas fracciones de mercurio.

947. Los aspectos más importantes que influyen en las liberaciones de mercurio a partir de las amalgamas dentales son:

- Las cantidades de amalgama dental usada por persona (per cápita) en el país, cifra que debe reflejar tanto la norma general de cuidado dental en la población como el alcance del uso de otros materiales para los empastes (compuestos plásticos, cerámica o coronas de oro);
- La presencia de filtros modernos y de alta eficacia para las amalgamas dentro del sistema de aguas residuales en las clínicas dentales. Los filtros pueden recolectar entre 90 y 99.9% de las entradas de amalgama a las aguas residuales. Si sólo se dispone de filtros de malla gruesa (coladores de rejilla), la mayor parte de la amalgama (entre 80 y 90%, según estudios daneses) se perderá al sistema de aguas residuales públicas o se liberará al medio ambiente en caso de que no exista este tipo de sistema;
- El destino de los desechos de amalgama (residuos de amalgama preparada para nuevos empastes, en material filtrado recolectado y en dientes extraídos o caídos). Puede recolectarse por separado para su reciclaje y otro tipo de tratamiento como desecho peligroso/médico, o bien puede depositarse en rellenos sanitarios o incinerarse con otros desechos generales o recibir otro tipo de tratamiento según la tendencia en el país.

948. Las pérdidas de mercurio durante el uso de los empastes (mientras están en la boca) son continuas, aunque se trata de un proceso muy lento. Hasta hace poco, algunos investigadores consideraban que estas salidas de mercurio eran insignificantes, pero un estudio realizado en Estocolmo, Suecia, en 2001 señaló que alrededor de 44% del total de las entradas de mercurio al tratamiento de aguas residuales provenía de los empastes de amalgama, mientras que sólo 21% provenía de las clínicas dentales (Sörme y Lagerkvist, 2002; Sörme *et al.*, 2003). Los cálculos de liberaciones de mercurio a partir de las amalgamas que se encuentran en las bocas de los habitantes se basan en tasas de excreción de 60 µg/ (día\*persona) con heces y orina (citando a Skare y Engquist,

1994), y no incluyen las aportaciones obtenidas de los alimentos (Sörme y Lagerkvist, 2002; Sörme *et al.*, 2003). Es importante ver estos resultados en el contexto sueco, donde otras fuentes de entradas de mercurio a las aguas residuales son probablemente mínimas si se les compara con la situación de otros países del mundo (quizás Suecia sea uno de los países donde se ha regulado el uso del mercurio de manera más estricta durante varias décadas).

### 5.6.1.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-134 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de los empastes dentales de amalgama

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción de ingredientes	Mercurio comprado para la producción cada año	Mercurio perdido por Kg de mercurio comprado para la producción
Preparación de empastes en los dientes en las clínicas dentales	Número de empastes de amalgama hechos cada año o Población nacional	g de mercurio usado para la preparación de un empaste de amalgama o Consumo estimado de mercurio para empastes de amalgama per cápita
Uso (en las bocas de las personas)	Población nacional	Excreción estimada de mercurio per cápita por año
Disposición	Número de empastes de amalgama hechos cada año hace 10-20 años o Población nacional	g de mercurio usado para la preparación de un empaste de amalgama o Consumo estimado de mercurio para empastes de amalgama per cápita hace 10-20 años

949. Con base en datos provenientes de Dinamarca y dependiendo del tamaño y tipo de empaste, se usa un promedio de 0.4-1.2 g de mercurio por empaste, incluido el exceso de amalgama o sobrante; alrededor de 0.4 g de mercurio para el empaste de una superficie y aproximadamente 1.2 g para empastar tres superficies del diente. Según datos detallados de ese país sobre los tipos de empastes que se aplican, el consumo promedio de mercurio por empaste es de alrededor de 0.8 g (basado en Maag *et al.*, 1996 y Skårup *et al.*, 2003). Tal vez se usen cantidades parecidas por empaste en otros países.

Tabla 5-135 Consumo anual de mercurio reportado para las amalgamas dentales en países seleccionados, en total y por habitante \*1

	Dinamarca 1983	Dinamarca 1993	Dinamarca 2001	Suecia 1991	Suecia 2003	Noruega 1995	Noruega 1999	EE.UU. 1996
Consumo reportado de mercurio con empastes de amalgama, Kg/año	3100	1800	1200	1700	103	840	510	31000
Población, millones *2	5.4	5.4	5.4	8.9	8.9	4.5	4.5	281
Consumo anual de mercurio con amalgama dental, g por habitante	0.57	0.33	0.22	0.19	0.01	0.19	0.11	0.11

Notas: \*1 Dinamarca: las amalgamas de mercurio han sido gradualmente sustituidas por otros materiales para hacer empastes. Los empastes de amalgama se prohibieron a partir del año 1994, a excepción de su

aplicación en molares de adultos en superficies de uso rudo (Skårup *et al.*, 2003). Suecia: el rápido cambio al uso de alternativas a principios de la década de 1990 causó la caída en el consumo de amalgamas; desde entonces, el consumo ha seguido cayendo lentamente (Kemi, 1998). En los últimos 5-6 años se ha reducido considerablemente el número de amalgamas dentales y las cantidades de mercurio usadas en Suecia. En 1997 se vendieron 980 kg de mercurio para amalgamas dentales; en 2003 se vendieron 103 kg (Kemi, 2004). Noruega: Autoridad para el Control de la Contaminación en Noruega, citada por Maag *et al.* (2001). Estados Unidos: se reportó un consumo de mercurio para empastes de amalgama casi constante entre 1980 y 1996 (Sznoppek y Goonan, 2000);

\*2 World Fact Book de la CIA (acceso registrado en 2003 en la página <http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/index.html> ).

950. Por lo general, los empastes de amalgama tienen una vida útil de 10 a 20 años (en dientes adultos), lo que significa que las salidas actuales de mercurio debido a la disposición de empastes “gastados” típicamente reflejan el consumo de hace 10 a 20 años. NJ MTF supone una vida media de 15 años por amalgama (NJ MTF, 2002).

#### 5.6.1.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

951. Los estudios detallados realizados en Dinamarca (Skårup *et al.*, 2003; Maag *et al.*, 1996) calculan que alrededor de 60% de las amalgamas consumidas (nuevas) corresponden a empastes, mientras que alrededor de 25% constituye residuos (siempre se mezcla una cantidad ligeramente mayor a la que de hecho se usa) y 15% es succionado de la boca del paciente y llega a las aguas residuales (o a un filtro) durante el proceso de empastado y modelado. Los mismos estudios calculan, a partir de un enfoque de balance de masa, que aproximadamente 70% del mercurio en los empastes viejos son desprendidos con el taladro o fresa y acaban en las aguas residuales (o en los residuos que llegan a los filtros), mientras que alrededor de 20% son extraídos (principalmente en el caso de pacientes adultos) o se pierden (tratándose de niños) y llegan a los desechos, y 10% permanece en el cuerpo de los difuntos y se libera a la tierra (en cementerios) o a la atmósfera (durante la cremación) (COWI, 2002). En lo que respecta a los desechos de amalgamas que siguen las aguas residuales producidas en las clínicas dentales, se calcula que 80% de dichas clínicas danesas cuentan con filtros centrales de alta eficacia, capaces de retener alrededor de 95% del residuo de la amalgama en las aguas residuales, mientras que el 20% o menos restante de las clínicas no dispone de este tipo de filtros (Skårup *et al.*, 2003). En el caso de las clínicas que sólo cuentan con filtros de malla gruesa y carecen de filtros de alta eficacia, se hace un cálculo estimado según el cual únicamente se retiene de 20 a 50% del mercurio en las aguas residuales y se desecha con residuos peligrosos, desechos municipales o se lleva a procesos de reciclaje (con base en Skårup *et al.*, 2003, y las citas que hacen de la obra de Arenholt-Bindslev y Larsen, 1996).

952. NJ MTF reporta que las pruebas de aguas residuales provenientes de consultorios dentales en seis ciudades estadounidenses y una ciudad europea sugieren la liberación promedio de 0.1 g de mercurio por dentista cada día (Bill Johnson, 1999, citado en NJ MTF, 2002). Sin embargo, los datos indican que la cantidad liberada por cada dentista varía bastante (NJ MTF, 2002). Un estudio realizado en Massachusetts, Estados Unidos (MWRA, 1997), calcula que cada instalación libera diariamente entre 0.06 y 0.34 g de mercurio a las aguas residuales (MWRA, 1997, citado en NJ MTF, 2002).

953. Algunas clínicas dentales cuentan con filtros que recogen diversas fracciones de mercurio en sus aguas residuales (hasta aproximadamente 95%). Es posible recolectar los residuos de amalgamas y, a veces, fracciones de filtro para procesarlas y recuperar la plata. La cantidad de mercurio que se desecha en un consultorio dental depende de varios factores, incluido el uso de filtros (o “trampas en el sillón odontológico”). Un estudio informa la descarga de un promedio de 2 g de mercurio por dentista cada día si no se usan filtros (Drummond *et al.*, 1995, citado en NJ MTF, 2002). Si se usan trampas en el sillón odontológico, se captura alrededor de 60 - 70% del mercurio y se evita su liberación a las aguas residuales (NJ MTF, 2002). Algunas instalaciones cuentan con sistemas de filtración adicional, como filtros de vacío o separadores de aire/agua que recogen partículas más pequeñas de este metal (NJ MTF, 2002).

954. En NJ, el material contaminado con mercurio que queda atrapado en trampas y otros dispositivos de control suele liberarse en los desechos municipales sólidos o llegar al proceso de reciclaje (NJ MTF, 2002).

955. La cantidad total de mercurio usado en la industria dental estadounidense en 1995 fue de 32 toneladas métricas (Plachy, 1996, citado en US EPA, 1997a). Un informe de Perwak, *et al.* (1981) calcula que 2% del mercurio usado en aplicaciones dentales se emite a la atmósfera (a partir de las clínicas). Usando esa cifra de 2%, se calculó que las emisiones de mercurio en 1995 fueron de 0.64 toneladas métricas en Estados Unidos (US EPA, 1997a).

956. Hay liberaciones lentas de vapores de mercurio elemental a lo largo de la vida del empaste y éstas pueden dirigirse inmediatamente al aire o acabar en desechos humanos (orina y heces) (Barr, 2001).

957. Además de lo ya citado, las amalgamas de mercurio producen liberaciones importantes durante los procesos de cremación (descritos en la sección 5.10.1) y en los cementerios (véase la sección 5.10.2).

#### 5.6.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

958. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas, y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

959. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

960. Debido a la falta de datos, no es posible establecer factores por defecto para la producción y el suministro de los ingredientes de la amalgama.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

961. Los datos reales sobre el número de empastes con amalgama preparados anualmente arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones. La cifra puede multiplicarse con la cantidad promedio de mercurio usada por empaste: 0.8 g de Hg/empaste, de acuerdo con la situación de Dinamarca.

962. Si no se dispone de información sobre el número de empastes con amalgama preparados cada año, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto seleccionados en la tabla 5-136 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo absoluto).

Tabla 5-136 Factores preliminares de entrada por defecto para el uso de mercurio en la preparación de empastes dentales con amalgama

	<b>Factores de entrada por defecto; g de mercurio consumidos por habitante por año; (mínimo - máximo)</b>
Mercurio usado anualmente para preparaciones de amalgamas dentales	0.05 - 0.2

### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

963. Los factores por defecto para las salidas que se indican más adelante se basan, fundamentalmente, en los datos provenientes de Dinamarca ya citados, pues aportan series correlacionadas de entradas y salidas, y son producto de investigaciones detalladas.

964. Es importante destacar que las salidas de mercurio deben calcularse a partir de las entradas con empastes dentales en diferentes ocasiones (como lo muestra la siguiente tabla) para las diferentes etapas del ciclo de vida de estas amalgamas debido a su larga vida útil. Si se sabe que el suministro de mercurio para la preparación de empastes dentales con amalgama ha sido relativamente constante en los últimos 20 años, pueden usarse los datos de suministro actual como dato aproximado de las entradas.

965. Debido a la variación en las rutinas de disposición de desechos de un país a otro, se decidió aplicar una distribución artificial equitativa entre los tipos de desechos a fin de señalar la posibilidad de que se registren importantes salidas de mercurio por ambas vías. Si se dispone de más información acerca de las prácticas de manejo de desechos, podrán hacerse ajustes individuales a los cálculos. En países con una ausencia generalizada de prácticas de manejo específicas para desechos peligrosos o médicos, se recomienda clasificar la salida total a los desechos bajo el rubro “desechos generales”.

Tabla 5-137: Factores *preliminares* de distribución por defecto en las salidas de mercurio causadas por las amalgamas dentales

Etapa del ciclo de vida	Factores de distribución, porción de las entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra	Productos 2*	Desechos generales *1	Tratamiento /disposición específicos por sector *1
Preparaciones de empastes para dientes en clínicas dentales (porción de suministro actual de mercurio para amalgamas dentales)	0.02	0.14		0.6	0.12	0.12
Uso – de empastes en la boca (porción de suministro de mercurio para <i>empastes</i> hace 5-15 años) *3		0.02				
Disposición – vía clínicas y viviendas y muertes (porción de suministro de mercurio para empastes hace 10-20 años) *4:						
- en países donde la mayoría de las clínicas dentales está equipada con filtros de amalgama de alta eficacia (tasa de retención de 95%)		0.02		0.06	0.26	0.26
- en países donde la mayoría de las clínicas sólo dispone de filtros/coladores de rejilla		0.3		0.06	0.12	0.12

Notas: \*1 Debido a que las rutinas de disposición de desechos varían mucho de un país a otro, se eligió presentar una distribución artificial y equitativa entre los diversos tipos de desechos a fin de señalar la posibilidad de salidas importantes de mercurio. El tratamiento específico por sector puede ser el reciclaje, la disposición como desechos peligrosos o la disposición como desechos médicos;

\*2 Los empastes cuando están colocados en los dientes. Para la etapa de disposición, el mercurio liberado con los “productos” es el mercurio que queda en los empastes al momento de la muerte de las personas; ese mercurio puede liberarse a los cementerios o durante la cremación de cadáveres.

\*3 Éste es un cálculo muy aproximado de liberaciones de mercurio a partir de los empastes dentales en la boca con base en los datos de Suecia arriba descritos (fundado en Sörme y Lagerkvist, 2002; Sörme et al.,

2003; y su cita de Skare y Engquist, 1994); la conversión de las cantidades en la boca al suministro de Hg se basa en datos provenientes de Dinamarca (ver más arriba) que indican que 60% del suministro de Hg para empastes dentales termina en los empastes ya colocados, mientras que 40% se pierde durante la preparación de la mezcla.

\*4 Los factores aquí expresados reflejan que únicamente alrededor de 60% de los suministros originales estaban integrados a los empastes cuando fueron colocados.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

966. No se sugieren enlaces.

#### 5.6.1.6 Datos principales por fuente

967. Los datos más importantes para esta fuente específica serán algunos o la totalidad de los siguientes:

- Datos sobre la cantidad total de mercurio usado en el sector dental en el país, o
- Datos sobre la cantidad promedio de mercurio usado por dentista por año;
- Datos sobre el porcentaje de clínicas dentales que usan filtros de amalgama de alta eficacia;
- Promedio de empastes por persona en el país (indicador de los estándares de atención dental general), y
- Datos sobre la distribución de desechos de amalgamas dentales provenientes de clínicas y su destino entre desechos generales, reciclaje, desechos peligrosos o desechos médicos.

## 5.6.2 Manómetros y medidores

### 5.6.2.1 Descripción de la subcategoría

968. El mercurio se usa en algunos medidores de presión sanguínea, manómetros industriales y meteorológicos, y válvulas de presión (PNUMA, 2002). La probabilidad de que los medidores de presión sanguínea se vendan con contenido de mercurio es alta. En el caso de las válvulas de presión para calefacción urbana y para usos educativos, el mercurio metálico que emplean suele venderse por separado, es decir, no está integrado en el producto. El mercurio puede suministrarse durante el período de uso de todos los tipos mencionados y puede desecharse con los dispositivos o por separado. Existen alternativas sin mercurio para todos los usos y poco a poco están sustituyendo los equivalentes con mercurio en algunos países (Maag *et al.*, 1996, citado en COWI, 2002). Debe destacarse que la cuantificación de mercurio suministrado por separado para dichos usos puede ser difícil de distinguir de otras formas de consumo de mercurio metálico (COWI, 2002).

### 5.6.2.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-138 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de los manómetros y medidores con contenido de mercurio

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción	x	x		X	x	x
Uso	x	X	x			
Disposición					X	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

969. Al igual que en el caso de otros productos que contienen mercurio, las liberaciones pueden tener lugar: 1) a partir de la producción de medidores/manómetros con contenido de mercurio (al aire, el agua y la tierra), dependiendo de la cercanía de los sistemas de manufactura y de las prácticas relativas al mercurio en cada instalación productiva; 2) por rompimiento o pérdida de mercurio a partir de medidores/manómetros (al aire, el agua/aguas residuales, la tierra) durante su uso, y 3) durante la disposición del mercurio con o sin manómetros/medidores/válvulas después de su uso (directamente a la tierra o relleno sanitario, y posteriormente al agua y el aire), dependiendo de los tipos y eficacia de los procedimientos para el manejo de desechos (COWI, 2002).

### 5.6.2.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-139 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de manómetros y medidores

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Producción	Mercurio suministrado a la producción cada año	Pérdidas calculadas de mercurio por tonelada métrica de mercurio suministrado
Uso	Número de dispositivos suministrados cada año	Cantidad de mercurio en cada tipo de dispositivo
Disposición	Número de dispositivos dispuestos cada año	Cantidad de mercurio en cada tipo de dispositivo

970. El grupo de productos es muy diverso y hay un gran número de equipos distintos. A pesar de ello, se ha encontrado información escasa sobre el contenido real de mercurio en los equipos. La siguiente tabla muestra ejemplos de contenido de mercurio en manómetros y medidores de diferentes países/regiones. Los contenidos de mercurio están en un rango de aproximadamente 70 g en medidores de presión sanguínea para uso médico a varios cientos de kg de mercurio en válvulas de presión en plantas para calefacción urbana.

Tabla 5-140 Ejemplos de contenido de mercurio en manómetros y medidores en g de mercurio por artículo, por tipo y origen de los datos

Tipo de equipo	Contenido de mercurio en equipos (g de Hg/artículo)	País/región de donde provienen los datos	Observaciones
Medidores de presión sanguínea para uso médico	85	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002
	70	Dinamarca	Skårup <i>et al.</i> , 2003
Manómetros	hasta 150	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002
Manómetros con forma de U	70-140	Dinamarca	Maag <i>et al.</i> , 1996
Manómetros para sistemas de ordeña	354	Minnesota	MTAP, 2003
Manómetros y barómetros usados para medir la presión del aire	100 - 500	Estados Unidos	US EPA, 2003c
Barómetros	40-1,000	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002
	590-2,200	Rusia	Yanin, 2004
Manómetros ambientales	3,000	Unión Europea	Floyd <i>et al.</i> , 2002
Válvulas de presión en plantas para calefacción urbana	100,000-600,000	Dinamarca	Maag <i>et al.</i> , 1996
Medidores de presión	211; 1683	Rusia	Yanin, 2004

#### 5.6.2.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

971. Es posible que se registren liberaciones de mercurio a partir del uso de manómetros y válvulas y no es raro tener que ajustar los niveles de mercurio con recargas. Se ha demostrado que el mercurio liberado a partir de las válvulas de mercurio que tienen varios cientos de kg de mercurio cada una, en plantas de calefacción urbana constituye una fuente importante del mercurio encontrado en muchas plantas para el tratamiento de desechos municipales en Dinamarca (Markmann *et al.*, 2001).

#### 5.6.2.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

972. No se definieron factores por defecto para esta subcategoría de fuente.

#### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

973. El mercurio usado en esta subcategoría puede contribuir a las entradas de mercurio al sistema de aguas residuales, al tratamiento de desechos generales y al tratamiento de desechos peligrosos/médicos.

### 5.6.3 Químicos y equipos de laboratorio

#### 5.6.3.1 Descripción de la subcategoría

974. El mercurio se usa en los instrumentos, reagentes, preservadores y catalizadores de los laboratorios. Parte de ese mercurio se libera al aire, sobre todo a través del sistema de ventilación de las instalaciones. Sin embargo, la mayor parte del mercurio puede liberarse en las aguas residuales o depositarse como desechos sólidos o municipales.

975. Las siguientes dos tablas muestran ejemplos de equipos y químicos de laboratorio que contienen mercurio. En el caso de la mayoría de los químicos el uso total de mercurio probablemente sea muy bajo. Es posible que se haya sustituido al mercurio en algunos equipos y en algunos de los métodos analíticos citados. No obstante, algunos análisis estándar resultan difíciles de sustituir en la práctica, aun cuando se disponga de sustitutos, pues el propósito de los estándares es mejorar la reproductividad de las prácticas de análisis y así favorecer las más reconocidas, además de que es muy común que la normativa pública exija su aplicación.



Tabla 5-141 Equipos de laboratorio con contenido de mercurio

Equipo	Uso reportado	Referencia
Analizador de gas en sangre	Mercurio en electrodo de referencia en analizador de gas en sangre Radiometer (marca)	Floyd <i>et al.</i> , 2001
Electrodos de mercurio (calomel)	Electrodo de referencia en electroquímica, por ejemplo, para medir el pH	Bjørnstad, 1992
Analizador de plomo en sangre	Electrodo analizador de plomo ESA (marca), modelo 2020B	Floyd <i>et al.</i> , 2001
Electrodo de gota de mercurio	Potenciometría	Bjørnstad, 1992
Contador Coulter	Contar y medir el tamaño de las partículas microscópicas. El mercurio puede estar en un manómetro, en el interruptor de encendido-apagado, en el medidor de tiempo, en el medidor de vacío y otros equipos de medición dependiendo del modelo.	Bjørnstad, 1992; SH, 2004
Recolector de muestras de petróleo marino		Bjørnstad, 1992
Centrifugadores	Los modelos viejos pueden usar mercurio en cápsulas de equilibrio	NIH, 2004
Microscopio de electrones	Mercurio usado como amortiguador de la vibración	NIH, 2004
Termostatos	Diversidad de aplicaciones	Ver sección XX
Termómetros, manómetros y otros equipos de medición	Diversidad de aplicaciones	Ver sección XX, XX
Lámparas de mercurio para absorción atómica de espectrofotómetros y otros equipos	Diversidad de aplicaciones	Ver sección XX

Tabla 5-142 Químicos de laboratorio con contenido de mercurio

Reagente/compuesto de mercurio	Uso reportado	Referencia
Sulfato mercúrico, HgSO <sub>4</sub>	Análisis de demanda de oxígeno químico (DOQ) En electroquímica de laboratorio para la creación de cadenas electroquímicas Fotómetro de llama	Skårup <i>et al.</i> , 2003 Lassen <i>et al.</i> , 2004 NIH, 2004
Cloruro mercúrico, HgCl <sub>2</sub>	Ingrediente de la solución de Zenker (72 g Hg/L) y B5 (37 g Hg/L); fijador de tejidos para patología, histología Ingrediente de la solución de Hayem para conteo de células rojas en sangre Para la identificación de tirrol, para la determinación nefelométrica del sulfuro dimetil, para la determinación cuantitativa de la cisterna por titulación potenciométrica y como catalizador para hidrohalogenación	Floyd <i>et al.</i> , 2002 Lassen <i>et al.</i> , 2004
Cloruro de mercurio, Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , calomel	Para preparar electrodos de referencia	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Óxido mercúrico, HgO	Catalizador para detectar nitrógeno en compuestos orgánicos con el método de Kjeldahl (pueden usarse otros catalizadores) Hematoxilina de Harris	Skårup <i>et al.</i> , 2003 NIH, 2004

Reagente/compuesto de mercurio	Uso reportado	Referencia
Sulfato de mercurio, $\text{HgSO}_4$ o su mezcla con $\text{CuSO}_4$ o $\text{SeO}_2$	Catalizador para detectar nitrógeno en compuestos orgánicos con el método de Kjeldahl	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Óxidos de mercurio	Oxidantes en química preparatoria; para determinar títulos de ácidos; en síntesis orgánica de laboratorio; para obtener algunos compuestos nitrosos, hipocloruros, siloxanes orgánicos; para preparar electrodos de referencia.	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Mercurio metálico	En polarografía basada en el uso de goteo de mercurio o amalgama o electrodos indicadores; agente protector para la determinación cuantitativa de nitratos orgánicos; determinación de pureza de fluoruro y su concentración en gases; creación de nuevos materiales superconductores; desarrollo de nuevos dispositivos para la descarga de gases; porometría de mercurio (determinación de la porosidad de diversos materiales y sustancias); electroquímica de laboratorio (coulometría de mercurio y convertidores de datos electroquímicos; para preparar electrodos de referencia.	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Compuestos orgánicos de Hg	Para determinar bisulfuro orgánico; en síntesis orgánica en laboratorio; en química preparatoria	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Reagente de Nessler (solución alcalina $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ )	Enzima de prueba de Bun, nitrógeno sin proteína Para detectar y determinar fotométricamente el amonio ( $\text{NH}_3$ ), para detectar alcoholes y aldehídos, para identificar (en papel y cromatografía de capa delgada) hidroaminoácidos	NIH, 2004; Lassen <i>et al.</i> , 2004
Yoduro de mercurio, $\text{HgI}_2$	Tinción en histología Agente protector para la determinación cuantitativa de nitratos orgánicos; componente de líquidos pesados usados en análisis mineralógicos para distinguir minerales por densidad, - fluido Tule (solución acuosa de $\text{HgI}_2 + 2\text{KI}$ ) y fluido Shoushin-Rorbach ( $\text{BaI}_2\text{HgI}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ ). Para preparar electrodos de referencia	SH, 2004; Lassen <i>et al.</i> , 2004
Fluoruro de mercurio, $\text{Hg}_2\text{F}_2$	Para preparar electrodos de referencia	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Bromuro de mercurio, $\text{Hg}_2\text{Br}_2$	Para preparar electrolitos	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Dibromuro de mercurio, $\text{HgBr}^+$	En electroquímica de laboratorio para preparar cátodos para conversión de corriente concentrada	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Soluciones acuosas, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ o $\text{Hg}(\text{ClO}_4)_2$	Como titulantes en mercurimetría (método de titulación para el análisis de aniones $\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{SCN}^-$ , $\text{CN}^-$ ).	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Soluciones acuosas, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	Como titulante en mercurimetría (método de titulación para detectar halogenuros).	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Nitrato mercúrico, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	Determinación de cloruros en sangre Catalizador para la síntesis de tetranitrometano Tinción tricromo en parasitología	Lassen <i>et al.</i> , 2004 NIH, 2004
Tiocianato mercúrico, $\text{Hg}(\text{SCN})_2$	Reagente analítico en rodanometría y mercurimetría (también para determinar halogenuros, sulfuros, tiosulfuros y cianuros)	Lassen <i>et al.</i> , 2004

Reagente/compuesto de mercurio	Uso reportado	Referencia
Fulminato de mercurio, Hg(ONC) <sub>2</sub>	Síntesis de ketones aromáticos mediante reacción de Hoesh	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Reagente de Millon (solución HgNO <sub>3</sub> y Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> en HNO <sub>3</sub> diluido, con aditivo HNO <sub>2</sub> )	Prueba de proteína (con grupo hidroxifenol) Reacción de color para proteínas y fenoles	NIH, 2004; Lassen <i>et al.</i> , 2004
Acetato mercúrico, (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Hg	Uso en química quinolizidina	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Hg(COOCH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , Hg(CN) <sub>2</sub> , HgO, HgBr <sub>2</sub>	Catalizadores en reacción de Koenigs-Knorr (síntesis de glicósidos y oligosacáridos)	Lassen <i>et al.</i> , 2004
Acetato fenólico mercúrico	Electrodo selectivo de iones	SH, 2004
Hidróxido de metilmercurio, CH <sub>3</sub> HgOH	Desnaturalizante en análisis de polimorfismo en conformación de un solo filamento (SSCP) en productos PCR Electroforesis con gel Precipitación de proteínas	NIH, 2004
Reagente Takata	Takata-Ara	NIH, 2004

976. La monografía del mercurio de la OCDE (OCDE, 1994) brinda información sobre el uso del mercurio por categoría en 13 países alrededor de 1990. El uso en laboratorio representó 2.7% del total de uso de mercurio en todos los países. La porción que representa el uso en laboratorio para cada país muestra un rango de 0.2% en Bélgica (en 1990) a 14% en Alemania (en 1985).

977. En Estados Unidos, la cantidad de mercurio usado para químicos de laboratorio (reagentes y catalizadores) pasó de aproximadamente 32 toneladas métricas en 1990 a 20 toneladas métricas en 1996 (Sznoppek y Goonan, 2000). El informe establece un cálculo aproximado según el cual la tercera parte del total se usó en instrumentos de laboratorio.

978. El uso de mercurio con químicos de laboratorio en Dinamarca ha pasado de alrededor de 510 kg/año en 1982/83 (Hansen, 1985) a 20-40 kg/año en 2001 (Skårup *et al.*, 2003). La principal razón detrás de esa disminución es la sustitución de mercurio por análisis de nitrógeno en compuestos orgánicos con el método Kjeldahl, lo que antes representaba la mayor parte del total. En 2001, el sulfato de mercurio usado para análisis de demanda de oxígeno químico (DOQ) representó la mayor parte del mercurio usado con químicos de laboratorio.

979. También en Francia el análisis DOQ representó el principal uso en laboratorio y se reporta que aproximadamente 900 kg de mercurio se destinaron cada año sólo a este método de análisis (AGHTM, 2000).

980. Floyd *et al.* (2002) establecen un cálculo aproximado: 100-200 kg de mercurio se destinaron al uso de agentes químicos y reagentes en laboratorios de hospitales de la Unión Europea (15) alrededor del año 2000. Sin embargo, si se considera que tan sólo Dinamarca usa 20-40 kg, la cifra parece demasiado baja.

### 5.6.3.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-143 Principales liberaciones y medios receptores a partir del uso de mercurio en laboratorios

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Uso de mercurio en laboratorios	x	X		X	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

981. Una pequeña parte del mercurio puede emitirse al aire durante su uso en laboratorios y llegar a los alrededores a través de las campanas de extracción y sus salidas de aire. La mayor parte del mercurio se desechará con los agentes usados. El destino del mercurio depende de los sistemas para el manejo de desechos de laboratorio que existan en el país. Los residuos se llevarán al tratamiento específico por sector, a los rellenos sanitarios o se desecharán al alcantarillado a través del drenaje.

### 5.6.3.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-144 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de químicos y equipos de laboratorio

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Número/cantidad de dispositivos con contenido de mercurio o reagentes químicos suministrados por año	Cantidad de mercurio en cada tipo de dispositivos o reagentes químicos

### 5.6.3.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

982. En 1994 se emitió a la atmósfera aproximadamente 1.0 tonelada métrica de mercurio en Estados Unidos debido a usos de laboratorio (US EPA, 1997b). Para llegar a ese cálculo se aplicó un factor de emisión atmosférica de 40 kg de mercurio por cada tonelada métrica de mercurio usada en laboratorios. El factor de emisión se basa en una evaluación relativamente vieja, fundada en un criterio de ingeniería y no en datos reales de pruebas. Por lo tanto, el factor se considera incierto.

983. En la Federación Rusa, los laboratorios están obligados a neutralizar los desechos con contenido de mercurio. En general, se procede a transportar los desechos a los rellenos sanitarios, pero los laboratorios pequeños pueden, después de la neutralización, descargar los desechos de reagentes en una solución fuertemente diluida al sistema de alcantarillado (Lassen *et al.*, 2004).

### 5.6.3.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

984. No se definieron factores por defecto para esta subcategoría de fuente.

985. **Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio** - Debe destacarse que el mercurio usado en esta subcategoría puede contribuir a las entradas de mercurio al sistema de aguas residuales, al tratamiento de desechos generales y al tratamiento de desechos peligrosos/médicos.

## 5.6.4 Uso del metal mercurio en rituales religiosos y medicina tradicional

### 5.6.4.1 Descripción de la subcategoría

986. Ciertas prácticas culturales y religiosas incluyen el uso del mercurio; tal es el caso de algunas comunidades latinoamericanas y afrocaribeñas, en Estados Unidos, México y tal vez otros países. Hay personas que llevan el mercurio en una bolsa sellada o en el bolsillo como amuleto, otras que lo rocían en los pisos de sus hogares o automóviles, lo queman en velas y lo mezclan con sus perfumes. En Estados Unidos, el mercurio para este tipo de usos suele adquirirse en tiendas de botánica (u otras similares). En diversos pueblos se recomienda el uso de mercurio para atraer la buena fortuna en el amor, el dinero o la salud, y para protegerse del mal (Riley, et. al., 2001 y NJ MTF, 2002).

### 5.6.4.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-145 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida del metal mercurio en rituales religiosos y medicina tradicional

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento /disposición específicos por sector
Preparación y distribución en tiendas de botánica y de otro tipo	X	X	X	X	X	
Uso	X	X	X		X	
Disposición	X	X	X		X	

Notas: X- Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x- Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

987. El mercurio usado en estas prácticas podría finalmente liberarse al aire, las aguas residuales o los desechos sólidos municipales. Los vapores de mercurio se liberan si no se usan recipientes sellados. La tasa de vaporización aumenta cuando se acostumbra rociarlo en los hogares y automóviles, y particularmente cuando se quema en velas.

### 5.6.4.3 Discusión de las entradas de mercurio

988. Por lo general, se venden cápsulas con contenido promedio de 8 – 9 gramos de mercurio.

### 5.6.4.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

989. En lo que se refiere a los métodos de disposición, en un estudio (Johnson, 1999, citado en NJ MTF, 2002) se encontró que 64% de los usuarios de mercurio reportaron haberlo tirado a la basura, 27% lo arrojaron al inodoro y 9% lo desechó al aire libre.

### 5.6.4.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

990. No se definieron factores por defecto para esta subcategoría de fuente.

991. **Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio** – Debe destacarse que el mercurio usado en esta subcategoría puede contribuir a las entradas de mercurio al sistema de aguas residuales, al tratamiento de desechos generales y a las liberaciones directas al medio ambiente.

## 5.6.5 Usos de productos misceláneos, usos de metal mercurio y otras fuentes

992. Se decidió incluir las fuentes que se comentan a continuación porque se sabe que pueden indicar el uso y la liberación de mercurio. Sin embargo, el presente instrumental no presenta descripciones, datos muestra u otra información sobre dichas fuentes debido a la escasez de datos y a

los limitados recursos disponibles para buscarlos. Si se identifican estas fuentes en el país, habrán de realizarse investigaciones específicas para recolectar datos sobre el consumo, el uso, las vías de liberación y disposición que permitan cuantificar las liberaciones al medio ambiente:

- semiconductores de detección infrarroja en los que el mercurio forma parte de la estructura de cristal. Estos dispositivos tienen diversos usos de luz infrarroja, como la visión nocturna y el análisis espectroscópico infrarrojo,
- tubos Bougie y tubos Cantor,
- usos educativos,
- giroscopios con mercurio,
- bombas de vacío con mercurio,
- uso de mercurio como refrigerante en algunos sistemas de enfriamiento,
- faros (luces para la navegación marina; en algunos tipos de faros la lente/lámpara flota con mercurio),
- mercurio en grandes piezas mecánicas de rodamiento, por ejemplo en viejas plantas para el tratamiento de aguas residuales,
- producción para curtido,
- pigmentos,
- oscurecimiento y grabado de acero,
- algunos tipos de papel fotográfico para impresión a color,
- protectores de culata en rifles,
- explosivos (por ejemplo la sustancia *mercury-fulminate*),
- dispositivos pirotécnicos,
- juguetes para ejecutivos.

993. Es posible encontrar cantidades importantes de mercurio en tubos Bougie y tubos Cantor, dilatadores de uso médico en hospitales (Floyd *et al.*, 2002). El tubo Bougie es un instrumento con pesas de mercurio que sirve para “dilatar” una abertura cuando hay tumores cancerosos u otras obstrucciones en el esófago. Estos instrumentos pueden contener hasta 1361 g de mercurio (SH, 2004). El tubo Conter tiene casi 2 metros de largo, se llena de mercurio y se introduce en el tracto gastrointestinal del paciente; contiene entre 54 y 136 g de mercurio (SH, 2004).

## 5.7 Producción de metales reciclados (producción “secundaria” de metales)

Tabla 5-146 Producción de metales reciclados: subcategorías con principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho/residuo	Principal enfoque para inventario
5.7.1	Producción de mercurio reciclado (“producción secundaria”)	X	X	X	X	X	FP
5.7.2	Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)	X	x	x		x	FP
5.7.3	Producción de otros metales reciclados	X	x	x		x	FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.7.1 Producción de mercurio reciclado (“producción secundaria”)

#### 5.7.1.1 Descripción de la subcategoría

994. Hay dos tipos básicos de producción secundaria de mercurio: recuperación de mercurio líquido en equipos desmantelados y recuperación de mercurio en productos de desecho mediante procesos de extracción. En Estados Unidos (y probablemente en muchos otros países), la cantidad total de mercurio recuperado en estado líquido es muy superior a la cantidad recuperada con procesos de extracción. Gran parte de la recuperación de mercurio líquido en el mundo está vinculada a tres diferentes áreas: 1) desmantelamiento de instalaciones de cloroálcali; 2) recuperación de medidores de mercurio en tuberías de gas natural, y 3) recuperación de manómetros, termómetros y otros equipos. En cada uno de estos procesos, el mercurio líquido se extrae de los equipos desmantelados y se deposita en recipientes especiales. El segundo tipo de producción implica el procesamiento de productos de desecho y desperdicios industriales y lodos con contenido de mercurio mediante procesos térmicos o químicos de extracción (US EPA, 1997a y COWI, 2002). (En US EPA, 1997a se encuentra una descripción de dichos procesos).

995. Las mismas plantas de reciclaje descritas en el párrafo anterior pueden utilizarse para la recuperación de mercurio en residuos minerales de la minería y procesamiento primario de zinc u otros metales, y lodos de la limpieza del gas natural antes de su distribución. Por lo general, estas actividades se conocen como recuperación de subproductos de mercurio para diferenciarlas del reciclaje posterior al uso por parte del consumidor. Esta distinción es útil cuando se cuantifica el reciclaje nacional de mercurio; de existir datos por separado, se sugiere reportarlo en la documentación del inventario.

996. Cabe destacar que el reciclaje del mercurio puede constituir una importante fuente de este metal para las economías de países que disponen de las instalaciones correspondientes. El mercurio refinado vuelve al ciclo del comercio internacional y el reciclaje suele recibir apoyo económico de los gobiernos para alentar la recolección y el tratamiento de este desecho peligroso (COWI, 2002)

997. En algunos países el reciclaje de mercurio representa una contribución sustancial a la oferta de mercurio en el mercado; en otros no hay plantas para el proceso de reciclaje. De estos últimos, algunos exportan parte de sus desechos con altas concentraciones de mercurio a instalaciones de reciclaje que se encuentran en el extranjero (COWI, 2002).

### 5.7.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-147 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la producción de mercurio reciclado (producción secundaria)

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Recuperación de mercurio líquido	X	X	X	x	X
Extracción de mercurio de productos de desecho	X	X	X	x	X
Recuperación de subproductos de mercurio	X	X	X	x	X

Notas: X- Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

998. Los procesos de reciclaje/recuperación de mercurio pueden producir importantes liberaciones atmosféricas y a medios acuáticos y terrestres. Las cantidades perdidas dependen mucho del cuidado con el que se manejen las liberaciones durante el proceso. Las instalaciones de reciclaje y recuperación pueden contar con dispositivos para la reducción de liberaciones capaces de aminorar las liberaciones directas de contaminantes a la atmósfera, el agua y la tierra. Al igual que en otros sectores, la tecnología para la reducción de liberaciones produce otros residuos sólidos o líquidos, los cuales deben ser manejados a fin de evitar o reducir liberaciones adicionales (COWI, 2002).

999. En Estados Unidos (y probablemente en muchos otros países) hay poca información sobre el desempeño de medidas concretas para el control de emisiones y los datos disponibles son específicos para cada ubicación. Si se usa un depurador, el vapor o las gotas de mercurio que queden en el gas de escape pueden quedar atrapadas en el rociador. Es posible reducir las concentraciones en el aire del cuarto de trabajo debido a las emisiones de vapor de mercurio (por ejemplo, por el proceso de retorta caliente) con alguno de los siguientes métodos: contención, ventilación del escape local, ventilación de la dilución, aislamiento y/o equipo de protección personal. Las emisiones de vapor debido a la transferencia de mercurio durante las etapas de destilación o rellenado pueden reducirse mediante contención, ventilación (escape local o ventilación) o control de temperaturas (US EPA, 1997a).

### 5.7.1.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-148 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la producción de mercurio reciclado (“producción secundaria”)

Tipo de proceso	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Recuperación de mercurio después del consumo	Cantidades de mercurio producido	g de mercurio liberado por tonelada métrica de mercurio producido

### 5.7.1.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

1000. Las emisiones pueden variar considerablemente de un tipo de proceso a otro durante la extracción de mercurio en materiales de desecho. Puede haber emisiones a partir de las siguientes fuentes: operaciones de retorta u horno, destilación y descarga atmosférica de los filtros de carbón vegetal. Las principales fuentes de emisiones de mercurio se deben al extractor del condensador y a las emisiones de vapor que tienen lugar durante la descarga de la cámara de la retorta. Las emisiones de mercurio también pueden tener lugar en el área de rellenado si el frasco se desborda y durante el



proceso de embotellamiento. Una empresa estadounidense (Mercury Refining Company) reportó resultados obtenidos a partir de dos estudios sobre pruebas de emisiones realizados en 1994 y 1995, mostrando emisiones promedio de 0.85 kg por tonelada métrica de mercurio recuperado (MRC, 1997, citado en US EPA, 1997a). En 1973 se calculó que los factores de emisión eran de 20 kg por tonelada métrica de mercurio procesado debido a la falta de control de emisiones durante el proceso (Anderson, 1973, citado en US EPA, 1997a).

1001. En el caso de Estados Unidos, el Inventario de Liberaciones Tóxicas 1994 (TRI) reporta datos sobre las liberaciones de mercurio en dos instalaciones (que disponen de procesos de extracción). Una de las instalaciones reportó emisiones atmosféricas de mercurio de 116 kg para el año 1994, la otra reportó 9 kg en el mismo rubro y año. Se espera que las instalaciones que se concentran fundamentalmente en la obtención de mercurio líquido a partir de equipos viejos (y que no cuentan con procesos de extracción) registren emisiones inferiores.

1002. En 1996, se reciclaron aproximadamente 446 toneladas métricas de mercurio proveniente de chatarra industrial en Estados Unidos. Se calcula que el reciclaje representó alrededor de 0.4 toneladas métricas de emisiones de mercurio en 1995 (US EPA, 1997b). Las principales fuentes de mercurio reciclado son las amalgamas dentales, sobrantes de mercurio en la manufactura de instrumentos y aparatos eléctricos (lámparas e interruptores), desechos y lodos provenientes de laboratorios de investigación y plantas de refinería electrolítica, y pilas con mercurio.

1003. La siguiente tabla muestra el peso de los desechos con contenido de mercurio procesados y el peso del mercurio comercial recuperado de los desechos de una instalación para el reciclaje del mercurio en Rusia. Esta planta usa un horno tubular giratorio que consiste en un cuerpo cilíndrico de metal con un diámetro de 1.6 m y una longitud de 14 m, instalado a un gradiente de 3-4° y recubierto en su interior con ladrillos refractarios. El total de liberaciones de mercurio reportadas en el proceso fue de 120 kg, distribuidos de la siguiente manera: 52 kg con gases de ebullición, 65 kg con aguas residuales, 3 kg con cenizas y 0.5 kg de pérdidas no definidas. La emisión atmosférica promedio fue de 2 kg/tonelada métrica de mercurio procesado, mientras que las liberaciones a las aguas residuales corresponden a 2.5 kg por tonelada métrica de mercurio procesado. En años anteriores las liberaciones fueron significativamente superiores y la emisión atmosférica de mercurio pasó de 20 g/tonelada métrica de mercurio procesado en 1999 a 2 g/tonelada métrica en 2001. En el mismo período, las liberaciones al agua se incrementaron de 0.5 a 2.5 g/tonelada métrica de mercurio procesado.

Tabla 5-149 Procesamiento de desechos con contenido de mercurio en 2001 en una instalación de reciclaje en Rusia (Lassen et al., 2004)

Tipo de desecho	Peso del desecho, kg	Hg comercial, kg
Catalizador, sorbente, lodo (de la producción de VCM)	244,312	9,793
Mercurio no condicionado	16,113	16,097
Lámparas de mercurio	20,610	7
Dispositivos con contenido de mercurio	1,784	131
Concentrado de luminóforo	23,700	78
Otros (elementos galvánicos, residuos y tierra de sitios en construcción contaminados por mercurio, producción adecuada de desechos, etc.)	54,800	343
Total	361,319	26,449

#### 5.7.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

1004. A partir de la información aquí presentada y compilada por Lassen *et al.* (2004) sobre la situación de una instalación en Rusia, se sugieren los siguientes factores preliminares de liberación de mercurio para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se

subraya que la aplicación de estos datos en otras instalaciones puede asociarse a un importante grado de incertidumbre, por lo que deben considerarse como meros indicadores. Ya que se fundamentan en una base de datos limitada, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación.

1005. El principal objetivo del uso de estos factores por defecto es obtener una impresión inicial y determinar si la subcategoría representa una fuente de liberación de mercurio significativa en el país. Por lo general, será necesario afinar los cálculos de las liberaciones (obtenidos con factores por defecto) antes de adoptar cualquier medida trascendental a partir de este tipo de datos.

Tabla 5-150 Salidas específicas reportadas y factores de distribución de salidas en una instalación de reciclaje en Rusia (Lassen et al., 2004)

	Salidas específicas reportadas *1	Factores de distribución de salidas – Porción de salidas	Factores de liberación específicos
	Kg/año	Sin unidades	Kg de liberación de Hg/tonelada métrica de Hg producida
Hg producido	26449	0.995	-
Liberaciones al aire	52	0.002	2,0
Liberaciones a las aguas residuales	65	0.002	2,5
Disposición de desechos específicos por sector (cenizas – residuos sólidos)	3	0.0001	0.1
Tratamiento/disposición específica por sector (pérdidas no explicadas)	0,5	0.00002	0.02
Suma de salidas reportadas	26569,5	1	-

Notas: \*1 Datos tomados de Lassen *et al.* (2004) sobre la descripción de una instalación en Rusia. El uso de estos datos para otras instalaciones puede causar incertidumbres sustanciales y sólo deben tomarse como un indicador.

1006. **Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio** – Es posible calificar las entradas de mercurio a las subcategorías de tratamiento de desechos a través de la cuantificación de entradas de mercurio a la sociedad con productos y materiales, como se describe en las secciones 5.1 a 5.6. Es necesario tomar precauciones para evitar la duplicación contable de salidas de mercurio durante la elaboración del inventario. Cabe notar que las entradas de mercurio a las instalaciones de reciclaje pueden incluir desechos de mercurio importados.

#### 5.7.1.6 Datos principales por fuente

1007. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Cantidades específicamente medidas de mercurio a todas las corrientes de salida.

### 5.7.2 Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)

#### 5.7.2.1 Descripción de la subcategoría

1008. La producción del hierro y el acero parte de la chatarra y aplica diversos procesos de alta temperatura. El mercurio puede estar presente en los metales/materiales reciclados como resultado de la presencia de impurezas naturales de mercurio en los materiales originales, así como la presencia de contaminación por mercurio a partir del uso antropogénico de este metal (por ejemplo, interruptores de mercurio en autos que pasan al proceso de reciclaje de hierro/acero).

### 5.7.2.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-151 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Desmenuzar, almacenar y fundir	X	x	x		x	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

1009. La chatarra ferrosa se procesa en diferentes industrias y tipos de instalaciones, e implica varios pasos. Por ejemplo, algunos automóviles se envían, primero, a desmanteladotes para la remoción de los componentes valiosos. Por lo general, se procede a aplastar el resto del automóvil y a enviarlo a una máquina desmenuzadora. Algunos automóviles viejos son enviados directamente a la máquina desmenuzadora. Otros artículos de desecho ingresan al proceso de chatarra en alguna de las etapas del sistema de procesamiento. Es posible que el mercurio sea liberado al aire, el agua o la tierra en alguno de los puntos del proceso, incluido el desmenuzamiento (NJ MTF, 2002) y la fundición.

### 5.7.2.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-152 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Desmenuzar, almacenar y fundir	Cantidades de hierro/acero reciclado producido	Contenido de mercurio por tonelada métrica de hierro/acero producido

1010. La chatarra incluye metales reciclados provenientes de vehículos motores y aparatos electrodomésticos desechados, así como residuos de metales de estructuras demolidas. El mercurio está presente en muchos artículos incluidos en esa chatarra. Por ejemplo, en Estados Unidos durante la década de 1990, se usaron alrededor de 9 toneladas métricas de mercurio al año para la fabricación de interruptores inclinados (como luces interiores en cajuelas o maleteros) y sistemas ABS para automóviles. Un estudio (ECGLU, 2001) calcula que entre 155 y 222 toneladas métricas de mercurio se encontraban circulando con los automóviles por las carreteras estadounidenses en el año 2001. Ya que la edad promedio de los automóviles circulando es de alrededor de 9 años y la gran mayoría de los automóviles desechados se convierte en chatarra, es posible calcular que aproximadamente 10% (o entre 15 y 22 toneladas métricas) del mercurio en los automóviles entra en el sistema para el procesamiento de chatarra año tras año (NJMTF, 2002).

1011. El uso de mercurio en interruptores en Estados Unidos ha registrado una reducción de entre 60 y 80% a partir del período 1996-2000. Sin embargo, el uso de mercurio en sistemas ABS se ha incrementado entre 130 y 180% en el mismo período (NJMTF, 2002).

1012. Los interruptores de mercurio que se encontraban en los autos fueron sustituidos primero en Europa, a diferencia del proceso descrito para Estados Unidos.

1013. También se encuentran cantidades importantes de mercurio en reguladores de presión del gas, interruptores y sensores de llama en aparatos eléctricos que se convierten en parte de la chatarra para la producción de hierro y acero (Cain, 2000, citado en NJ MTF, 2002).

#### 5.7.2.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

1014. En Nueva Jersey, Estados Unidos, hay tres instalaciones que producen acero por fundición de chatarra en hornos de arco eléctrico y tres instalaciones que producen hierro fundido por fundición de chatarra en hornos llamados “cúpulas”. Se calculó un total de emisiones atmosféricas de mercurio en las seis instalaciones de 0.46 toneladas métricas (NJ MTF, 2002) o un promedio aproximado de 0.076 toneladas métricas por instalación. Se calculó un total de emisiones atmosféricas de mercurio para esta subcategoría en Estados Unidos de aproximadamente 15.6 toneladas métricas con base en un estudio del Ecology Center (Ecology Center, 2001, citado en NJ MTF, 2002).

1015. Se espera que la principal vía de liberaciones sea atmosférica a través de los cañones de las chimeneas en los hornos de las instalaciones para la producción de hierro y acero (NJ MTF, 2002). También pueden registrarse liberaciones de mercurio al aire, la tierra y el agua en otras etapas del proceso, como el almacenaje, el desmantelamiento y el desmenuzamiento (NJ MTF, 2002).

1016. Sin embargo, un estudio de balance de masa en una instalación calcula que sólo 31% se liberó a través de las chimeneas, 49% se encontró en polvo de silo en el horno, 18% en los residuos de la desmenuzadora en forma de pelusa y 2% se emitió durante el proceso para desmenuzar el metal (Cain, 2000, citado en NJ MTF, 2002).

#### 5.7.2.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

1017. No se intentó definir factores por defecto para la producción de hierro y acero reciclados. Las entradas son sumamente dependientes del historial nacional o regional de componentes con contenido de mercurio, particularmente en autos y aparatos electrodomésticos.

#### 5.7.2.6 Datos principales por fuente

1018. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en diversos tipos de chatarra procesada en la fuente;
- Cantidad de cada tipo de chatarra procesada, y
- Datos medidos sobre los equipos para la reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

### 5.7.3 Producción de otros metales reciclados

#### 5.7.3.1 Descripción de la subcategoría

1019. En principio, es posible que el aluminio, el cobre, el zinc y otros metales que se reciclan en la mayoría de los países contengan mercurio. El mercurio entra en la producción de metales reciclados no ferrosos que no suelen reseñarse en la literatura. En el caso de la mayoría de los metales, los procesos para su fabricación original indican que las impurezas naturales de mercurio en la materia prima no siguen a los metales producidos en un grado alto. Así, la mayor parte de las entradas de mercurio al reciclaje de metales no ferrosos, de haberlas, se originaría en el uso del mercurio y otros materiales o productos/componentes con contenido de mercurio. En lo que respecta a la producción de acero reciclado, las contribuciones más obvias bien podrían provenir de interruptores, relevadores, termostatos y otros aparatos que contienen mercurio. A partir de lo que se sabe sobre el uso de mercurio en componentes y productos, los metales no ferrosos que participan en procesos de reciclaje podrían estar menos contaminados por mercurio que el acero reciclado.

1020. El aluminio es uno de varios metales reciclados con potencial de emitir mercurio. Se sospecha la contaminación proveniente del aluminio reciclado y de otros metales. El mercurio tiende a formar amalgamas con el aluminio más que con metales ferrosos, por lo tanto, en el flujo de metales reciclados la contaminación por mercurio podría estar más asociada al aluminio *versus* metales

ferrosos. Es posible que las instalaciones dedicadas a procesar aluminio reciclado usando calor liberen algo de mercurio al aire y otros medios.

### 5.7.3.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-153 Principales liberaciones y medios receptores durante el ciclo de vida de la producción de otros metales reciclados

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Producción	X	x	x		x	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.7.3.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-154 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la producción de otros metales reciclados

Etapa del ciclo de vida	Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Desmenuzar, almacenar y fundir	Cantidades de metal reciclado producido	Contenido de mercurio por tonelada métrica de metal producida

### 5.7.3.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

1021. La NJ MTF partió del supuesto según el cual las liberaciones a partir de las instalaciones para la producción de aluminio reciclado serían parecidas, en cantidad, a las liberaciones de las instalaciones que producen metales ferrosos reciclados (hierro y acero) ya descritas, y que el principal medio receptor es el aire. Por lo tanto, la NJ MTF supuso la emisión atmosférica de aproximadamente 455 kg en cada instalación para la producción de aluminio reciclado de Nueva Jersey (NJ MTF, 2002).

### 5.7.3.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

1022. No se intentó definir factores por defecto para la producción de otros metales reciclados. Las entradas son sumamente dependientes del historial nacional o regional de componentes con contenido de mercurio en productos de chatarra.

### 5.7.3.6 Datos principales por fuente

1023. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en diversos tipos de chatarra procesada en la fuente;
- Cantidad de cada tipo de chatarra procesada, y
- Datos medidos sobre equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

## 5.8 Incineración de desechos

Tabla 5-155 *Incineración de desechos: subcategorías con principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Producto	Desecho / residuo	Principal enfoque para inventario
5.8.1	Incineración de desechos municipales/generales	X	x	x	x	X	FP
5.8.2	Incineración de desechos peligrosos	X	x			X	FP
5.8.3	Incineración de desechos médicos	X	x			X	FP
5.8.4	Incineración de lodos cloacales	X	X			X	FP
5.8.5	Incineración informal de desechos	X	X	X			EG

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.8.1 Incineración de desechos municipales/generales

#### 5.8.1.1 Descripción de la subcategoría y el proceso

1024. El contenido de mercurio en el flujo de desechos generales surge a partir de tres grandes grupos: 1) mercurio usado deliberadamente en productos desechados y residuos de procesos; 2) impurezas naturales de mercurio en grandes volúmenes de material (plásticos, papel, etc.) y minerales, y 3) mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material. Las concentraciones de mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a los desechos y, por ende, variarán considerablemente de país a país y en función de las circunstancias.

1025. Los desperdicios o desechos sólidos municipales (DSM) consisten básicamente en basura doméstica y otros desechos sólidos comerciales, institucionales e industriales no peligrosos que no provienen de la manufactura. En algunos países, se incineran los lodos cloacales y los desechos médicos patógenos con los desechos municipales.

1026. A veces se incineran los DSM (en condiciones controladas, como las descritas en el presente instrumental), mientras que las porciones de desechos con materiales minerales suelen depositarse en rellenos sanitarios. La división cuantitativa entre la incineración y otros tratamientos de los desechos combustibles varía de un país a otro.

1027. Los DSM pueden quemarse sin tratamiento previo o pueden recibir tratamiento para la producción del llamado ‘combustible derivado de desperdicios’. En Estados Unidos, los incineradores de este tipo de combustible queman DSM procesados en diversos grados, desde la simple remoción de artículos grandes, voluminosos y no combustibles, hasta el procesamiento extenso para producir un combustible independiente y útil para la cosinterización en calderas a carbón pulverizado. El procesamiento de DSM hasta formar combustible derivado de desperdicios suele elevar el valor calorífico de los desechos debido a la remoción de muchos de los artículos no combustibles (US EPA, 1997a).

1028. Parte del mercurio puede quedarse en parte de los desechos no incinerados totalmente en algunos tipos de incineradores y salir del incinerador con la ceniza de rejilla. No obstante, en términos generales, prácticamente todo el mercurio presente en los desechos se convierte en vapor debido a las altas temperaturas del proceso de combustión. La mayor parte del mercurio sale con los gases de escape y la porción de entradas de mercurio que se libera en forma de emisiones atmosféricas a través

del cañón de la chimenea dependerá en gran medida de los dispositivos de control disponibles. Las instalaciones poco controladas registrarán liberaciones a través del cañón de la chimenea como emisiones atmosféricas de mercurio, mientras que la mayor parte de las entradas de mercurio en las instalaciones controladas acabará en los residuos de los gases de salida. A continuación se comentan los grados de efectividad de los diversos controles.

**5.8.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio**

*Tabla 5-156 Principales liberaciones y medios receptores de la incineración de desechos municipales/generales*

<b>Etapa del ciclo de vida</b>	<b>Aire</b>	<b>Agua</b>	<b>Tierra</b>	<b>Productos</b>	<b>Desechos generales</b>	<b>Tratamiento/ disposición específicos por sector</b>
Incineración controlada de desechos	X	x	x	x	X	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

1029. Los factores más importantes que determinan las liberaciones de mercurio en esta subcategoría son la concentración de mercurio en los desechos y la eficacia de los dispositivos de control (cuando los hay) para reducir las emisiones de mercurio.

1030. La tecnología de incineración y particularmente los sistemas para la limpieza de los gases de salida determinan la distribución de las salidas de mercurio entre las emisiones de aire, la acumulación en residuos sólidos de la incineración (cenizas de rejilla) y residuos de limpieza de gases, y liberaciones al agua (únicamente liberaciones indirectas vía ciertos tipos de tecnologías para la limpieza de gases de salida). Los equipos para la limpieza de gases de salida después de la combustión, ampliamente usados en muchos países del mundo, retienen partes de mercurio y evitan su liberación. Los sistemas para la limpieza de los gases de salida se parecen a los ya descritos para las grandes plantas de combustión de carbón (véase la sección 5.1.1), excepto por un posible paso adicional (integrado) vinculado a la inyección y captura subsiguiente de carbono activado (que adsorbe/absorbe algo de mercurio). La tecnología de carbono activado se usa en varios países, como Estados Unidos, Alemania, Suecia, Dinamarca y Austria.

**5.8.1.3 Discusión de las entradas de mercurio**

*Tabla 5-157 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la incineración de desechos municipales/generales*

<b>Datos necesarios de la tasa de actividad</b>	<b>Factor de entrada de mercurio</b>
Cantidad de desechos quemados	Concentración de mercurio en los desechos

1031. El contenido de mercurio de los DSM dependerá del uso de productos con contenido de ese metal en cada país y de la presencia de sistemas específicos para su recolección una vez desechados. Entre las fuentes conocidas de mercurio en DSM destacan las siguientes: pilas, equipos y cables eléctricos, lampas fluorescentes, dientes y otros desechos de amalgamas dentales, residuos de pintura y plásticos. Dependiendo de la vida útil de los productos, las fuentes de mercurio en los desechos reflejarán el uso del metal en los diferentes productos un número determinado de años antes de la evaluación del mercurio en los desechos.

1032. Las fuentes de mercurio al flujo de desechos han cambiado en Estados Unidos debido a las modificaciones al patrón de uso de este metal. Entre 1980 y 2000, las pilas de mercurio han

representado la mayor parte del mercurio en productos que llegan a los DSM en el país (tabla 5-158). En 1989 se calculó que alrededor de 88% del total de mercurio desechado provenía de pilas. De ese 88%, alrededor de 28% se encontraba en pilas de óxido mercúrico y el resto en pilas alcalinas y de otro tipo (US EPA, 1997a). Sin embargo, el número de pilas con contenido de mercurio desde fines de la década de 1980 ha registrado una importante disminución en Estados Unidos y probablemente en muchos otros países, pero aunque el contenido total de mercurio en los desechos se ha reducido, en 2000 las pilas todavía representaban más de 50% del mercurio en productos encontrados en el flujo de desechos (tabla 5-158).

1033. A partir de 1989, se reportó que se habían desechado 644 toneladas métricas de mercurio al flujo de desechos sólidos municipales en Estados Unidos y la concentración de mercurio en desechos sólidos se reporta en el rango de menos de 1 - 6 ppm por peso con un valor típico de 4 ppm por peso (ppm = g de mercurio por tonelada métrica de desecho). Sin embargo, debido a los cambios en el consumo de mercurio, la cantidad vertida al flujo de desechos sólidos municipales ha registrado una disminución espectacular desde 1989, alcanzando aproximadamente 157 toneladas métricas en el año 2000 (tabla 5-158Tabla 5-).

1034. Se ha calculado que la concentración de mercurio en DMS en Nueva Jersey en 2001 estuvo en el rango de 1.5 - 2.5 ppm (NJ MTF, 2002).

*Tabla 5-158 Mercurio en productos dentro de la corriente de DMS en EE.UU. en 1980, 1989 y 2000 (cifras esperadas) (basado en datos de Franklin Associates, Ltd. (1989), citados por Yep et al., 2002)*

Tipo de desecho	Porcentaje del total		
	1980	1989	2000 (proyección)
Pilas domésticas	78.4	87.6	57
Luces eléctricas	4.4	3.8	23.7
Residuos de pintura	4.9	2.6	0.3
Termómetros para la fiebre	4.7	2.3	9.7
Termostatos	1.3	1.6	6.0
Pigmentos	4.2	1.4	0.9
Usos dentales	1.3	0.6	1.3
Recubrimiento especial de papel	0.2	0.2	0.0
Interruptores de luz con mercurio	0.1	0.1	1.1
Pilas para carretes de película	0.5	0.0	0.0
Desechos totales	100	100	100
Desechos totales en EE.UU. (toneladas métricas)	497	644	157

1035. La tabla 5-159 muestra las fuentes de mercurio en DMS en Dinamarca en 1992/1993 y 2001 respectivamente. Las pilas representaron más de la mitad del contenido total en el período 1992/1993, cifra parecida a los resultados registrados en Estados Unidos (tabla 5-158). En 2001, las pilas representaron únicamente 27% del total, sobre todo debido a la reducción del contenido de mercurio en pilas alcalinas 'y de otro tipo'. En 2001, el mercurio como impureza natural presente en los desechos (elemento traza natural) representó 28% del total del contenido de mercurio en los desechos. Cabe señalar que esta contribución no está incluida en las fuentes de mercurio en DMS que aparecen en la tabla 5-158. Como es evidente, hay considerable incertidumbre en los cálculos para cada grupo de desechos, aun cuando los cálculos se basan en análisis detallados de flujo de sustancias. El contenido total de mercurio en los desechos pasó de 0.4 – 1.2 ppm a 0.1 – 0.6 ppm durante el período



(según diversos estudios, el contenido real de mercurio tiene mayor probabilidad de encontrarse en el extremo superior del rango calculado).

Tabla 5-159 Fuentes de mercurio en DMS desechados para su incineración en Dinamarca en 1992/1993 y 2001 (Maag et al., 1996; Skårup et al., 2003)

Tipo de desecho	1992/1993		2001	
	kg Hg/año	% del total	kg Hg/año	% del total
Dientes y desechos dentales misceláneos	200 - 310	18	64 - 180	12
Fuentes de luz	4 - 20	1	19 - 110	6
Interruptores y relevadores	0 - 120	4	75 - 380	22
Termómetros	80 - 200	10	19 - 38	3
Equipo de monitoreo	0 - 40	1	19 - 47	3
Pilas	420 - 1,100	53	52 - 510	27
Mercurio como impureza (elemento traza)	20 - 370	14	28 - 560	28
Total (redondeado)	700 - 2,200	100	280 - 1,800	100

#### 5.8.1.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

1036. Las emisiones atmosféricas de mercurio a partir de los combustores de desechos municipales (CDM) pueden reducirse hasta cierto punto mediante la remoción del mercurio absorbido por las partículas de los gases de salida a través de precipitadores electrostáticos (PES) y filtros de tela (FT). La eficacia en la remoción de mercurio mediante filtrado depende de la capacidad de cada filtro de retirar partículas pequeñas. La reducción de gas ácido en los gases de salida también puede contribuir a la retención de mercurio.

1037. La eficacia de remoción de estos mecanismos de control puede mejorar con la adsorción de vapores de mercurio de la cámara de combustión a un material de gas ácido adsorbente u otros adsorbentes para después retirar el mercurio en partículas. Los dispositivos de control de MP más populares en Estados Unidos son los precipitadores electrostáticos (PES). Reducir la temperatura de los gases de salida en la entrada al dispositivo de control a 175 °C (o menos) ayuda a lograr un alto control del mercurio. En general, los sistemas CDM más nuevos usan una combinación de enfriamiento de gases y sistemas para la inyección de sorbentes en ductos (ISD) o desecadores de rocío (DR) corriente arriba en relación con el dispositivo para la remoción de partículas a fin de disminuir las temperaturas y brindar un mecanismo para controlar los gases ácidos (US EPA, 1997a).

1038. En condiciones de incineración a temperaturas superiores a los 850°C y contenido de O<sub>2</sub> de 8-10% vol, las especies predominantes de mercurio serán los cloruros de mercurio (I y II) y el mercurio elemental (Velzen *et al.* 2002). El equilibrio químico calculado por termodinámica para el mercurio en gases de salida típicos con contenido de HCl y SO<sub>2</sub> muestra que el principal producto entre los 300 y los 700°C es HgCl<sub>2</sub>, mientras que a una temperatura superior a 700°C el mercurio elemental es el producto dominante. La tabla 5-60 presenta un resumen de las eficacias para la remoción de mercurio en diferentes equipos de limpieza de gases de salida situados en los incineradores (Velzen *et al.*, 2002). Para el cálculo se supone que la relación HgCl<sub>2</sub>/Hg(0) es de entre 70/30 y 80/20. La adición de 'absorbentes especiales' (o adsorbentes) puede referirse a absorbentes impregnados con azufre o compuestos de azufre o adsorbentes a base de carbono activo, capaces de incrementar la porción del mercurio sobre las partículas.

Tabla 5-160 Eficacia en la remoción de mercurio en sistemas de limpieza de gases de salida en incineradores de desechos

Equipos	Temperatura (°C)	HgCl <sub>2</sub>	Hg(0)	General	Referencia
Precipitadores electrostáticos (PES)	180	0 - 10%	0 - 4%	0-8%	Velzen <i>et al.</i> , 2002
Precipitadores electrostáticos (PES)				10%	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
Filtros de tela (FT)				29%	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
Depuradores húmedos	65-70	70 - 80%	0 - 10%	55 - 65%	Velzen <i>et al.</i> , 2002
Depuradores húmedos con agente acondicionador		90 - 95%	20 - 30%	76 - 82%	Velzen <i>et al.</i> , 2002
Absorbedores de rocío + FT (piedra caliza)	130	50 - 60%	30 - 35%	44 - 52%	Velzen <i>et al.</i> , 2002
Absorbedores de rocío + FT (se añaden absorbentes especiales) *1		90 - 95%	80 - 90%	87 - 94%	Velzen <i>et al.</i> , 2002
Absorbedores de flujo por arrastre + filtro de tela (se añaden absorbentes especiales) *1	130	90 - 95%	80 - 90%	87 - 94%	Velzen <i>et al.</i> , 2002
Lecho fluidizado circulante + filtro de tela (se añaden absorbentes especiales) *1	130	90 - 99%	80 - 95%	87 - 98%	Velzen <i>et al.</i> , 2002
PES o FT + cuentas de filtro de carbono				99%	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
PES o FT + inyección de carbono				50 - >90%	Pirrone <i>et al.</i> , 2001
PES o FT + depurador húmedo pulidor				85%	Pirrone <i>et al.</i> , 2001

Notas - \*1 Los absorbentes especiales pueden estar impregnados con azufre o compuestos de azufre o absorbentes a base de carbón activo capaces de incrementar la sorción de mercurio sobre las partículas.

1039. Como se muestra en la tabla, a veces los precipitadores electrostáticos son poco eficaces para la remoción de mercurio. Los depuradores húmedos o adsorbentes de rocío que usan piedra caliza para retirar los gases ácidos tienen grados de eficacia de 55-65% y 44-52% respectivamente. Añadir absorbentes/adsorbentes especiales, casi siempre carbono activado, es un requisito para obtener una alta eficacia de remoción, es decir, superior a 90%.

1040. Según las pruebas de cumplimiento realizadas recientemente en 115 de los 167 grandes incineradores de desechos sólidos municipales en Estados Unidos, el promedio de eficacia en cuanto al control de mercurio en estas instalaciones fue de 91.5%. La eficacia promedio de control en cada instalación se basó en el promedio de tres pruebas definidas a partir de la medición del total de la concentración de mercurio en los gases de salida antes y después de la aplicación del control (inyección de carbono activado en polvo corriente arriba en el desecador de rocío o la manga del filtro de tela o el precipitador electrostático) (PNUMA, 2002).

1041. El mercurio eliminado de los gases de escape se retiene con los residuos de la incineración y, en algunos tipos de tecnología de filtrado, con los residuos sólidos del tratamiento de las aguas residuales (a partir del proceso de depuración). En general, estos residuos se envían a rellenos sanitarios o, dependiendo de su contenido de materiales peligrosos y otras características, se usan en la construcción (tablarroca, plantillas para carreteras u otros usos parecidos). En algunos casos los residuos sólidos se almacenan en depósitos especiales para desechos peligrosos con una membrana o cubierta de seguridad para eliminar o reducir las liberaciones por evaporación y lixiviación.

1042. La tabla 5-161 presenta algunos ejemplos de la distribución de mercurio en los diferentes desagües de los incineradores de desechos municipales. En comparación con las eficacias típicas de remoción que muestra la tabla 5-160, los PES de estos incineradores tienen una eficacia relativamente alta gracias a la retención de más partículas pequeñas.

Tabla 5-161 Ejemplos de las eficacias de remoción de mercurio en los sistemas de limpieza de gases de salida en incineradores de desechos

	Porcentaje de salida total a:						Sistema para la limpieza de gases de salida
	Emisión al aire	Ceniza de rejilla	Polvo PES/FT	Sólidos depositados durante la filtración para la limpieza de gases ácidos	Residuo del adsorbedor de carbono	Aguas residuales	
Schachermayer <i>et al.</i> , 1995 (Austria)	<1	5	30	65		<1	PES, depurador húmedo, denox
Amagerforbrænding, 2000 (Dinamarca)	7	1	92			<0.01	PES, proceso semiseco de limpieza de gases de salida
Acthenbosch y Richers, 2002, (Alemania)	0.4	-	44.3	54.6	0.7		PES, desecador de rocío PES, depuradores húmedo, scr, adsorbedor de carbono
Shin Chan-Ki <i>et al.</i> , 2000 (Corea)	7.3	1.8	13.9			77 *1	PES, depurador húmedo

Notas - \*1 Indicado en la referencia como “agua para la depuración de gases”; no se menciona si las aguas residuales se filtran y si los sólidos depositados tras la filtración se desechan por separado.

1043. Las emisiones atmosféricas de mercurio a partir de los CDM en Estados Unidos han disminuido notablemente en los últimos 10 años. Dichas reducciones se deben, en parte, a la menor cantidad de mercurio en los desechos, pero también a la mejora/ampliación de las tecnologías de control. A principios de la década de 1990 los CDM liberaron alrededor de 40 toneladas métricas y hacia el año 2001 las emisiones atmosféricas registraban una disminución hasta aproximadamente 4 toneladas métricas de mercurio (US EPA, 2001).

1044. Los controles actuales de emisiones en los incineradores de desechos sólidos en Nueva Jersey (Estados Unidos), que básicamente consisten en la inyección de carbono al dispositivo de control de partículas, retiran aproximadamente 95% o más del mercurio contenido en los gases de escape. Posteriormente se mezcla el carbono con las cenizas. A partir de la información del grupo especializado de Nueva Jersey, muy probablemente los restos de mercurio adsorbido en el carbono inyectado y las liberaciones de mercurio de este residuo sean bajas (NJ MTF, 2002).

1045. La US EPA formuló factores de emisión atmosférica (FE) para CDM en el año 1994, como lo muestra la tabla 5.162. Es probable que los FE de años previos fueran más altos y que los FE de años recientes sean más bajos gracias a las menores concentraciones de mercurio en los desechos.

Tabla 5-162: Factores de emisión promedio para los incineradores de desechos sólidos municipales en EE.UU. para el período 1994-1995 (con base en US EPA, 1997a)

Tipo de combustor	Concentración de mercurio $\mu\text{g}/\text{m}^3$ seco en condiciones estándar a 7% $\text{O}_2$	Factores de emisión promedio en g/tonelada métrica de desechos
DSM sin control de gases ácidos	340	1.4
DSM con control de gases ácidos	205	0.83
DSM con control de gases ácidos + carbono	19	0.077
Combustible derivado de desperdicios sin control de gases ácidos	260	2.6
Combustible derivado de desperdicios con control de gases ácidos	35	0.34

Notas: Los controles de gases ácidos son: DR, ISD/FT, DR/PES, ISD/PES, DR/FT y DR/PES;  
 DR = desecador de rocío; ISD = inyección de sorbentes en ductos; PES = precipitador electrostático

#### 5.8.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

1046. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en el uso de pinturas en aquellos casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos. Además, los factores por defecto representan juicios de expertos con base únicamente en datos sintetizados y (hasta el momento) no se ha contado con un enfoque cuantitativo sistemático en el desarrollo de los factores. En muchos casos el cálculo de intervalos de liberación arrojará un estimado más preciso de las liberaciones reales.

1047. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

##### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

1048. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en los desechos (por ejemplo, establecidos con los procedimientos que indica el presente instrumental) arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

1049. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en los desechos municipales, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto seleccionados en la tabla 5-163 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo. Se espera que el factor mínimo de entradas sea relevante en una situación en la que se han clasificado y separado partes importantes de los productos de desecho con alta concentración de mercurio (termómetros, pilas, desechos de amalgamas dentales, interruptores, etc.) para su tratamiento independiente, por lo que su número será menor en los

desechos municipales. Se espera que el factor máximo de entradas sea relevante en situaciones carentes de esa clasificación y separación de desechos, y donde la mayor parte de las concentraciones altas de mercurio se encuentra en los desechos municipales. Como ya se dijo, los niveles de mercurio en los desechos dependen directamente, desde luego, del consumo de productos y materiales con contenido de mercurio en el país en cuestión.

Tabla 5-163 Factores preliminares de entrada por defecto para el mercurio en desechos sólidos municipales

Material	Factores de entrada por defecto; g de Hg/tonelada métrica de desechos; (mínimo - máximo) *1
Desechos sólidos municipales (desechos “domésticos” generales) *1	1 - 10

Notas: \*1 Se espera que el factor mínimo de entradas sea relevante en una situación en la que se han clasificado y separado partes importantes de los productos de desecho con alta concentración de mercurio (termómetros, pilas, desechos de amalgamas dentales, interruptores, etc.) para su tratamiento independiente, por lo que su número será menor en los desechos municipales. Se espera que el factor máximo de entradas sea relevante en situaciones carentes de esa clasificación y separación de desechos, y donde la mayor parte de las concentraciones altas de mercurio se encuentra en los desechos municipales. Como ya se dijo, los niveles de mercurio en los desechos dependen directamente, desde luego, del consumo de productos y materiales con contenido de mercurio en el país en cuestión.

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

Tabla 5-164: Factores preliminares de distribución por defecto en las salidas de mercurio a partir de la incineración de desechos sólidos municipales

Dispositivos para la reducción de emisiones *1	Factores por defecto de distribución de salidas, porción de entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector *4
Ninguno	1			?	?	
Reducción de MP con PES simple o dispositivo similar	0.9		*3	?	?	0.1
Control de gases ácidos con piedra caliza (u otro absorbente de gases ácidos similar) y FT de alta eficacia corriente abajo o retención de MP con PES	0.5		*3	?	?	0.5
Absorbentes especiales de mercurio y FT corriente abajo	0.1		*3	?	?	0.9

Notas: \*1 MP = material particulado; FT = filtro de tela; PES = precipitador electrostático;

\*2 Dependiendo de los sistemas para la limpieza de gases que efectivamente se usen, partes del mercurio de otra manera depositado como residuo podrían llegar a los productos comercializados (por ejemplo escoria/cenizas para la plantilla de las carreteras y cenizas volantes para la producción de cemento);

\*3 En caso de que los residuos no se depositen cuidadosamente, el mercurio que contienen podría considerarse como liberado a la tierra;

\*4 Pueden depositarse en rellenos sanitarios de desechos generales o en rellenos especiales y seguros de desechos peligrosos.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

1050. En el caso de las subcategorías de tratamiento de desechos, es muy importante tener presente que el contenido de mercurio en los desechos surge de 1) el mercurio usado deliberadamente en productos desechados y residuos de procesos; 2) impurezas naturales de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.) y minerales, y 3) mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material. Cabe destacar que partes de esas entradas de mercurio pueden dirigirse a los desechos municipales, peligrosos y médicos.

1051. Por lo tanto, las liberaciones de mercurio al medio ambiente y depósitos de desechos a partir de estas subcategorías habrán de verse como consecuencia del mercurio presente en los productos que usa la sociedad.

1052. Asimismo, es posible calificar las entradas calculadas de mercurio a las subcategorías de tratamiento de desechos mediante la cuantificación de las entradas de mercurio a la sociedad con productos y materiales, como se describe en las secciones 5.4 - 5.6. Es necesario tomar precauciones para evitar la duplicación contable de salidas de mercurio durante la elaboración del inventario.

1053. Es importante subrayar que el presente instrumental no cuantifica individualmente las entradas de mercurio a la incineración a partir de las concentraciones traza de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.).

#### 5.8.1.6 Datos principales por fuente

1054. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- En caso de que sea posible calcular con considerable precisión las entradas de mercurio a los desechos (a través de los productos, etc.), pueden usarse estos datos de entrada para cuantificar las liberaciones de mercurio a partir de la incineración de desechos. Sin embargo, cabe señalar que el presente instrumental no cuantifica individualmente las entradas de mercurio a la incineración a partir de las concentraciones traza de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.), por lo que la cuantificación de las entradas totales tendería a arrojar cifras subestimadas al aplicar este enfoque.

1055. Ya que suele ser difícil medir las entradas de mercurio a los desechos o cuantificarlas con precisión, los siguientes datos pueden contribuir a lograr los mejores cálculos de liberaciones/salidas de mercurio a partir de la incineración de desechos:

- Liberaciones atmosféricas: mediciones de las concentraciones promedio de mercurio en los gases de salida combinadas con mediciones de los gases de salida producidos (por año) en condiciones promedio;
- Salidas a los residuos sólidos: mediciones de las concentraciones promedio de mercurio y cantidades de residuos producidos por año para cada vía de salida importante de residuos (cenizas/escoria, residuos de la limpieza de los gases de salida, tablarroca, etc.);
- Liberaciones acuáticas (de haberlas): mediciones de las concentraciones promedio de mercurio en las descargas líquidas, combinadas con mediciones de las cantidades descargadas (por año) en condiciones promedio.

1056. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

## 5.8.2 Incineración de desechos peligrosos

### 5.8.2.1 Descripción de la subcategoría

1057. El contenido de mercurio en el flujo de los desechos peligrosos tiene un origen básico en el uso deliberado de mercurio en productos desechados y residuos de procesos. Parte de los residuos peligrosos se incinera dentro de un proceso de tratamiento/disposición. Las concentraciones de mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a los desechos y, por ende, variarán considerablemente de país a país y en función de las circunstancias.

1058. El concepto “desechos peligrosos” se refiere a los residuos y desechos que contienen materiales peligrosos en cantidades importantes. En general, todos los materiales, incluidos los bienes de consumo, que requieren de precauciones y restricciones especiales para su manejo y uso pertenecen a este grupo. Todos los bienes de consumo etiquetados en este sentido y que han llegado al flujo de los residuos habrán de considerarse desechos peligrosos: solventes y otros hidrocarburos volátiles, pinturas y tintes, sustancias químicas como pesticidas y herbicidas, productos farmacéuticos, pilas, combustibles, aceites y otros lubricantes, así como artículos con metales pesados. Además, todos los artículos contaminados con estos materiales, como trapos o papel, madera, residuos de la producción, etc., se consideran desechos peligrosos (PNUMA, 2003).

1059. Rara vez resulta conveniente incinerar desechos con altas concentraciones de mercurio, es más recomendable sacarlos de los desechos peligrosos antes de su incineración y darles un tratamiento independiente. No obstante, no siempre será fácil hacerlo así en la práctica.

1060. Por lo general, los desechos peligrosos se queman en incineradores con tecnología especial o en hornos rotativos. Los incineradores con tecnología especial cuentan con hornos de tecnología muy menor ya sea de tipo tambor, rejilla o mufla. En este grupo también pueden incluirse otras tecnologías que tratan los desechos peligrosos (como la oxidación supercrítica del agua y horno de vitrificación eléctrico de arco), aunque no necesariamente se les clasifica como “incineración”. En algunos países los desechos peligrosos se incineran en cementeras y hornos de agregados ligeros, descritos en las secciones 5.3.1 y 5.3.3.

1061. Los incineradores están equipados con una amplia variedad de dispositivos para controlar la contaminación del aire cuya complejidad va desde cero control hasta sistemas complejos y vanguardistas capaces de controlar muy diversos contaminantes. En términos generales, las técnicas de control empleadas se parecen a las técnicas descritas bajo el rubro de incineración de desechos municipales (véase la sección 5.8).

### 5.8.2.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-165 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la incineración de desechos peligrosos

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Incineración	X	x			x	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

1062. El contenido de mercurio en los desechos determina las entradas de mercurio. La tecnología para incineración y, particularmente, los sistemas para la limpieza de gases de salida aplicados determinan la distribución de las salidas de mercurio entre emisiones atmosféricas, acumulación en residuos sólidos de la incineración y la limpieza de gases, y liberaciones al agua (sólo de manera indirecta vía ciertos tipos de tecnologías para la limpieza de gases de salida).

### 5.8.2.3 Discusión de las entradas de mercurio

1063. Las entradas de mercurio a los desechos tóxicos pueden variar mucho de un país a otro debido a las diferencias en la clasificación y manejo/tratamiento de los desechos. Difícilmente podrán definirse datos generales sobre las entradas de mercurio a este sector y, por ende, sería necesaria una exhaustiva búsqueda de datos y/o mediciones en cada instalación de desechos peligrosos.

1064. En caso de que haya cálculos confiables sobre las liberaciones de mercurio en condiciones muy parecidas (puede ser dentro del mismo país o región local), es posible recurrir a una extrapolación con base en las cantidades de desecho a fin de desarrollar cálculos preliminares.

### 5.8.2.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

1065. La US EPA calculó emisiones atmosféricas de mercurio a partir de incineradores de desechos peligrosos para el año 1996. Asimismo, con cálculos similares, estableció una tasa promedio de emisión de mercurio a modo de punto de referencia para los hornos de cemento y los hornos de agregados ligeros (US EPA, 1997a). Se estima que el total de las emisiones atmosféricas de mercurio a partir de la combustión de desechos peligrosos en Estados Unidos en 1996 fue de 6.3 toneladas métricas (US EPA, 1997a). No se dispone de datos sobre las salidas de mercurio a los residuos sólidos o las aguas residuales.

1066. Los incineradores están equipados con una amplia variedad de dispositivos para controlar la contaminación del aire cuya complejidad va desde cero control hasta sistemas complejos y vanguardistas capaces de controlar muy diversos contaminantes. En términos generales, las técnicas de control empleadas se parecen a las técnicas descritas bajo el rubro de incineración de desechos municipales (véase la sección 5.8).

### 5.8.2.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

1067. Debido a la falta de datos, no se considera razonable definir factores por defecto para la incineración de desechos peligrosos. Cabe señalar, sin embargo, que este proceso de incineración puede constituir una fuente importante de liberaciones de mercurio, por lo que no debe omitirse del inventario. De ser posible, habrán de obtenerse datos específicos.

1068. Cuando no sea posible obtener datos específicos por instalación, podrá calcularse una primera cifra aproximada combinando datos sobre las cantidades de desechos peligrosos incinerados con los factores de entrada por defecto establecidos para los desechos médicos (sección 5.8.3); la mayoría de las posibles fuentes de entrada de mercurio es igual. En el caso de las salidas de mercurio, puede recurrirse a los factores de salidas por defecto fijados para la incineración de desechos municipales (sección 5.8.1).

1069. En caso de que haya cálculos confiables sobre las liberaciones de mercurio en condiciones muy parecidas (puede ser dentro del mismo país o región local), es posible recurrir a una extrapolación con base en las cantidades de desecho a fin de desarrollar cálculos preliminares.

1070. **Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio** - En el caso de las subcategorías de tratamiento de desechos, es muy importante tener presente que el contenido de mercurio en los desechos surge de 1) el mercurio usado deliberadamente en productos desechados y residuos de procesos; 2) impurezas naturales de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.) y minerales, y 3) mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material. Cabe destacar que partes de esas entradas de mercurio pueden dirigirse a los desechos municipales, peligrosos y médicos.

1071. Por lo tanto, las liberaciones de mercurio al medio ambiente y depósitos de desechos a partir de estas subcategorías habrán de verse como consecuencia del mercurio presente en los productos que usa la sociedad.



1072. Asimismo, es posible calificar las entradas calculadas de mercurio a las subcategorías de tratamiento de desechos mediante la cuantificación de las entradas de mercurio a la sociedad con productos y materiales, como se describe en las secciones 5.4 - 5.6. Es necesario tomar precauciones para evitar la duplicación contable de salidas de mercurio durante la elaboración del inventario.

1073. Es importante subrayar que el presente instrumental no cuantifica individualmente las entradas de mercurio a la incineración a partir de las concentraciones traza de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.).

#### **5.8.2.6 Datos principales por fuente**

1074. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- En caso de que sea posible calcular con considerable precisión las entradas de mercurio a los desechos (a través de los productos, etc.), pueden usarse estos datos de entrada para cuantificar las liberaciones de mercurio a partir de la incineración de desechos. Sin embargo, cabe señalar que el presente instrumental no cuantifica individualmente las entradas de mercurio a la incineración a partir de las concentraciones traza de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.), por lo que la cuantificación de las entradas totales tendería a arrojar cifras subestimadas al aplicar este enfoque.

1075. Ya que suele ser difícil medir las entradas de mercurio a los desechos o cuantificarlas con precisión, los siguientes datos pueden contribuir a lograr los mejores cálculos de liberaciones/salidas de mercurio a partir de la incineración de desechos:

- Liberaciones atmosféricas: mediciones de las concentraciones promedio de mercurio en los gases de salida combinadas con mediciones de los gases de salida producidos (por año) en condiciones promedio;
- Salidas a los residuos sólidos: mediciones de las concentraciones promedio de mercurio y cantidades de residuos producidos por año para cada vía de salida importante de residuos (cenizas/escoria, residuos de la limpieza de los gases de salida, tablarroca, etc.);
- Liberaciones acuáticas (de haberlas): mediciones de las concentraciones promedio de mercurio en las descargas líquidas, combinadas con mediciones de las cantidades descargadas (por año) en condiciones promedio.

### **5.8.3 Incineración de desechos médicos**

#### **5.8.3.1 Descripción de la subcategoría**

1076. Los desechos médicos incluyen desechos infecciosos y no infecciosos generados en diversas instalaciones dedicadas a los cuidados de salud para personas, atención médica veterinaria o actividades de investigación realizadas en hospitales, clínicas, consultorios médicos y dentales, hogares para ancianos, clínicas y hospitales veterinarios, laboratorios médicos y facultades y unidades de investigación en medicina humana y veterinaria. El contenido de mercurio en el flujo de los desechos médicos tiene su origen fundamental en los productos desechados o residuos de procesos con uso deliberado de mercurio. Las concentraciones de mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a los desechos y, por ende, variarán considerablemente de país a país y en función de las circunstancias.

1077. Los desechos médicos comprenden todo desecho generado en actividades médicas, independientemente de que éstas tengan lugar en un hospital y sean practicadas por médicos, dentistas u otro tipo de personal de salud. Entre los desechos generados en este tipo de actividades destacan las secreciones, la sangre, los productos farmacéuticos y sus empaques y/o herramientas usadas para el tratamiento médico de personas o animales. Suele recurrirse a la incineración para destruir de manera

confiable los virus, las bacterias y los agentes patógenos contenidos en estos desechos (PNUMA, 2003). Por “incinerador de desechos médicos” (IDM) nos referimos a cualquier dispositivo usado para quemar este tipo de desechos.

1078. En algunos países se incineran los desechos médicos (según la definición anterior) en incineradores de desechos peligrosos o en incineradores de desechos municipales adaptados para ello.

1079. La información disponible señala que los sistemas IDM pueden ser fuentes importantes de emisiones de mercurio. Estas emisiones son resultado de los materiales que contienen mercurio y se encuentran en los desechos. Entre las fuentes conocidas destacan los termómetros, los materiales dentales con amalgamas de mercurio, las pilas, las sustancias químicas de laboratorio (en muestras, etc.), las lámparas fluorescentes, las lámparas de descarga de alta intensidad (vapor de mercurio, metal halógeno y sodio a alta presión); recubrimientos con papeles especiales y películas, y pigmentos; de preferencia, hay que separar estos materiales del flujo de desechos antes de la incineración siempre que sea posible. Es importante destacar que esta composición coincide, en parte, con las posibles entradas de mercurio a los desechos peligrosos, y en muchos casos será difícil determinar la distribución de entradas de mercurio si en el país se llevan a cabo ambos tipos de incineración de desechos.

1080. Los incineradores están equipados con una amplia variedad de dispositivos para controlar la contaminación del aire. En términos generales, las técnicas de control se parecen a las ya descritas bajo el rubro de la incineración de desechos municipales (véase la sección 5.8.1).

1081. Se han usado diversas configuraciones de control de la contaminación del aire a fin de controlar materias particuladas (MP) y emisiones gaseosas en las chimeneas de los incineradores de desechos médicos. La mayor parte de las configuraciones cae en alguna de las clasificaciones generales de sistemas húmedos y sistemas secos. Los sistemas húmedos suelen incluir un depurador húmedo diseñado para el control de MP (depurador venturi o depurador rotativo con atomizador) en series con un depurador de lecho relleno para la remoción de gases ácidos y un sistema de eliminación de rocío de alta eficacia. La mayoría de los sistemas secos usan un filtro de tela para la remoción de MP, pero en algunos incineradores grandes de desechos médicos se han instalado PES. Estos sistemas secos pueden usar inyección de sorbentes ya sea por inyección seca o desecadores de rocío corriente arriba a partir del dispositivo de MP para mejorar el control de los gases ácidos. Además, algunos sistemas incorporan la combinación de un sistema seco/húmedo con inyección de un sorbente seco/filtro de tela, seguido de un depurador venturi. Ya que los sistemas aquí descritos fueron diseñados principalmente para controlar MP y gases ácidos, enfrentan limitaciones cuando se trata de controlar mercurio. Sin embargo, recientes estudios de la EPA indican que los sistemas de inyección de sorbentes/filtración por tela pueden mejorar el control del mercurio al añadir carbono activado al material sorbente (US EPA, 1997a).

### 5.8.3.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-166 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la incineración de desechos médicos

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento / disposición específicos por sector
Incineración	X	x			x	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

1082. El contenido de mercurio en los desechos determina las entradas de mercurio. La tecnología del proceso de incineración y, particularmente, los sistemas de limpieza de gases de salida, determinan la distribución de las salidas de mercurio en emisiones atmosféricas, acumulación en residuos sólidos de la incineración y la depuración de gases, y liberaciones al agua (únicamente liberaciones indirectas vía ciertos tipos de tecnologías para la limpieza de gases de salida).

### 5.8.3.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-167 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la incineración de desechos médicos

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Cantidad de desechos incinerados	Concentración de mercurio en los desechos

1083. Según la US EPA (2004), los desechos médicos tienen hasta 50 veces más mercurio que los desechos municipales en Estados Unidos y la cantidad de mercurio emitido por los incineradores de desechos médicos generales promedia más de 60 veces la cantidad correspondiente a los incineradores de desechos patológicos.

### 5.8.3.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

1084. En 1995 se emitió un total de 580 kg de mercurio al aire en Canadá a partir de la operación de 218 incineradores biomédicos, cifra que representa 28% de la totalidad de emisiones provenientes de incineradores de desechos en el país (Environment Canada, 2000). Entre las fuentes de mercurio en los desechos se encuentran pilas, lámparas fluorescentes y de alta intensidad, instalaciones fijas, termómetros, papeles para usos especiales y películas, y materiales farmacéuticos y pigmentados. Con base en un programa de muestras de emisiones de 1990 en el que participaron seis hospitales de Ontario, se calculó que, en promedio, se emitían 14 g de mercurio por cada tonelada métrica de desechos incinerados (Environment Canada, 2000).

1085. En 1996 se emitieron 14.6 toneladas métricas de mercurio a la atmósfera en Estados Unidos a partir de la incineración de 204,000 toneladas métricas de desechos patológicos y 1'410,000 toneladas métricas de desechos médicos generales (US EPA, 1997b). Esto corresponde a una emisión atmosférica promedio de 8.9 g/tonelada métrica de desechos.

1086. Los desechos médicos generales contienen una cantidad significativamente mayor de mercurio que los desechos patológicos, por lo que el promedio en el caso de los desechos médicos generales será ligeramente superior a los 8.2 g de mercurio por tonelada métrica (US EPA, 2004)

1087. La principal salida de emisiones atmosféricas a partir de la incineración de desechos médicos es el cañón de la chimenea por donde salen los gases de la combustión. Sin embargo, es posible que haya pequeñas cantidades de mercurio en las emisiones fugitivas de MP a partir del manejo de cenizas, sobre todo si las cenizas volantes se recogen a través de un sistema seco de control de contaminación con alta eficacia de remoción de mercurio. En las décadas de 1980 y 1990 se midieron las emisiones de mercurio en por lo menos 47 incineradores de desechos médicos (IDM) en Estados Unidos. La US EPA consideró alrededor de 40 de las pruebas como adecuadas para el desarrollo de factores de emisión (US EPA, 1997a).

1088. Los factores de emisión para los IDM con controles de combustión, depuradores húmedos, filtros de tela/sistemas de lecho relleno y depuradores secos (con y sin inyección de carbono activado) fueron elaborados por la US EPA.

1089. La tabla 5.168 presenta los factores de emisión atmosférica para los IDM con cada tecnología de control, elaborados por la US EPA (1997a). Son factores promedio que representan emisiones en IDM continuos e intermitentes que queman una mezcla de desechos no infecciosos y desechos infecciosos. Si bien el procedimiento aplicado para calcular los factores de emisión de los IDM aporta factores promedio representativos de la industria, no debe usarse para determinar los factores de emisión en cada una de las instalaciones. Las cifras parecen indicar que las entradas de mercurio en los desechos médicos incinerados estarían cerca o un poco arriba de los 37 g de mercurio por tonelada métrica de desechos. Esta situación podría haber cambiado entre 1997 y la actualidad, y los valores podrían ser inferiores.

Tabla 5-168 Factores de emisión atmosférica de mercurio para incineradores de desechos médicos (IDM), elaborados por la US EPA (1997a)

Control de contaminación del aire	g/tonelada métrica de desechos
Control de la combustión	37
Depurador húmedo	1.3
Depurador seco sin carbono	37
Depurador seco con carbono	1.7
Filtro de tela/lecho relleno	1.3

### 5.8.3.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

1090. A partir de la información compilada hasta ahora sobre las entradas y salidas y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en el uso de pinturas en aquellos casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

1091. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

1092. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en los desechos (por ejemplo, establecidos con los procedimientos que indica el presente instrumental) arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

1093. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en los desechos municipales, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto seleccionados en la tabla 5-169 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo.

Tabla 5-169 Factores preliminares de entrada por defecto para el mercurio en desechos médicos

<b>Material</b>	<b>Factores de entrada por defecto; g de Hg/tonelada métrica de desechos; (mínimo - máximo) *1</b>
Desechos médicos *1	8 - 40

Notas: \*1 Se espera que el factor mínimo de entradas sea relevante en una situación en la que se han clasificado y separado partes importantes de los productos de desecho con alta concentración de mercurio (termómetros, pilas, desechos de amalgamas dentales, lámparas fluorescentes, etc.) para su tratamiento independiente, por lo que su número será menor en los desechos municipales. Se espera que el factor máximo de entradas refleje una situación en la que todavía se usen productos con contenido de mercurio en los sectores médicos y la separación en el flujo de desechos sea más moderada.

#### **b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

1094. En caso de que no se disponga de datos específicos sobre la distribución de salidas de mercurio, podrán aplicarse los factores por defecto para las salidas de mercurio calculados para la incineración de desechos municipales a fin de obtener un primer cálculo aproximado (véase la sección 5.8.1).

#### **c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

1095. En el caso de las subcategorías de tratamiento de desechos, es muy importante tener presente que el contenido de mercurio en los desechos surge de 1) el mercurio usado deliberadamente en productos desechados y residuos de procesos; 2) impurezas naturales de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.) y minerales, y 3) mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material. Cabe destacar que partes de esas entradas de mercurio pueden dirigirse a los desechos municipales, peligrosos y médicos.

1096. Por lo tanto, las liberaciones de mercurio al medio ambiente y depósitos de desechos a partir de estas subcategorías habrán de verse como consecuencia del mercurio presente en los productos que usa la sociedad.

1097. Asimismo, es posible calificar las entradas calculadas de mercurio a las subcategorías de tratamiento de desechos mediante la cuantificación de las entradas de mercurio a la sociedad con productos y materiales, como se describe en las secciones 5.4 - 5.6. Es necesario tomar precauciones para evitar la duplicación contable de salidas de mercurio durante la elaboración del inventario.

1098. Es importante subrayar que el presente instrumental no cuantifica individualmente las entradas de mercurio a la incineración a partir de las concentraciones traza de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.).

#### **5.8.3.6 Datos principales por fuente**

1099. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- En caso de que sea posible calcular con considerable precisión las entradas de mercurio a los desechos (a través de los productos, etc.), pueden usarse estos datos de entrada para cuantificar las liberaciones de mercurio a partir de la incineración de desechos. Sin embargo, cabe señalar que el presente instrumental no cuantifica individualmente las entradas de mercurio a la incineración a partir de las concentraciones traza de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.), por lo que la cuantificación de las entradas totales tendería a arrojar cifras subestimadas al aplicar este enfoque.

1100. Ya que suele ser difícil medir las entradas de mercurio a los desechos o cuantificarlas con precisión, los siguientes datos pueden contribuir a lograr los mejores cálculos de liberaciones/salidas de mercurio a partir de la incineración de desechos:

- Liberaciones atmosféricas: mediciones de las concentraciones promedio de mercurio en los gases de salida combinadas con mediciones de los gases de salida producidos (por año) en condiciones promedio;
- Salidas a los residuos sólidos: mediciones de las concentraciones promedio de mercurio y cantidades de residuos producidos por año para cada vía de salida importante de residuos (cenizas/escoria, residuos de la limpieza de los gases de salida, tablarroca, etc.);
- Liberaciones acuáticas (de haberlas): mediciones de las concentraciones promedio de mercurio en las descargas líquidas, combinadas con mediciones de las cantidades descargadas (por año) en condiciones promedio.

## 5.8.4 Incineración de lodos cloacales

### 5.8.4.1 Descripción de la subcategoría

1101. Los lodos cloacales son producto de todos los procesos para el tratamiento de aguas residuales, independientemente de su origen (es decir, aguas residuales provenientes de actividades municipales, agrícolas o industriales). Las concentraciones de mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a las aguas residuales y, por ende, variarán considerablemente de país a país y en función de las circunstancias.

1102. En algunos países, si las concentraciones de sustancias peligrosas son lo suficientemente bajas, los lodos se esparcen en tierras agrícolas como fertilizante. De no ser así, los lodos pueden pasar al proceso de incineración (por separado o en centrales eléctricas de combustión conjunta, incineradores de desechos municipales, hornos de cemento, etc.), ser depositados en rellenos sanitarios o ser sometidos a otros tratamientos, como la oxidación húmeda, la pirolisis, la gasificación, etc.

1103. En algunos países, es común enviar los lodos cloacales al incinerador a modo de depósito final. En Estados Unidos, por ejemplo, se calcula que cada año se incineran alrededor de 785,000 toneladas métricas de lodos cloacales (peso seco) (B. Southworth, 1996, citado en US EPA, 1997a).

### Descripción del proceso

1104. El proceso para la incineración de lodos cloacales consta de dos pasos básicos. El primer paso es el desagüe o desecado de los lodos (o evaporación de la humedad de los lodos). En general, los lodos se desecan hasta alcanzar entre 20 y 35% de consistencia sólida. Los sistemas que aplican procesos de condicionamiento térmico suelen obtener lodos desecados con contenido en exceso de 40% sólidos. Por lo regular, los lodos se queman sin combustible auxiliar si su contenido de sólidos es superior a 25%. Después del proceso de desecado, los lodos se depositan en el incinerador, donde ocurre la oxidación térmica. La siguiente descripción corresponde a la incineración de lodos en hornos separados, por lo general situados como parte integral de las grandes plantas para el tratamiento de aguas residuales: las cenizas que no se queman se retiran del incinerador, por lo general de manera continua, y se depositan en un relleno sanitario o se vuelven a usar (en ladrillos, concreto, asfalto, etc.). Parte de los desechos no combustibles, con los compuestos orgánicos volátiles no quemados, salen del combustor a través de la corriente de gas de escape. Los dispositivos para el control de la contaminación del aire, principalmente depuradores húmedos, retiran los contaminantes de la corriente del gas de escape. Después, el gas sale y los contaminantes retenidos gracias a los dispositivos de control vuelven a la sección principal de la planta para el tratamiento de aguas residuales con los efluentes del depurador (y por ende vuelven a introducirse al sistema para el tratamiento de aguas residuales). Ya que el mercurio y los compuestos de mercurio son relativamente volátiles, la mayor

parte del metal abandonará la cámara de combustión con los gases de escape; se espera que las concentraciones en los residuos de cenizas sean insignificantes (US EPA, 1997a).

1105. Si no se purga el sistema deliberadamente a través de otras salidas materiales (por ejemplo, depositando las cenizas o parte de los residuos de la limpieza de gases de salida en rellenos sanitarios), en principio las únicas vías de salida de mercurio serán las liberaciones atmosféricas a partir de la incineración y las liberaciones con las aguas residuales tratadas al abandonar la planta de tratamiento.

#### 5.8.4.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-170 Principales liberaciones y medios receptores a partir de la incineración de lodos cloacales

Proceso	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Incineración de lodos	X	X			x	X

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

1106. Los factores más importantes para determinar las liberaciones de mercurio en esta subcategoría son la concentración de mercurio en lodos incinerados, el tipo de medidas de control presentes en la fuente y el destino de los residuos del proceso de la incineración. Si todos los residuos vuelven a la planta para el tratamiento de aguas residuales, no se logra retener nada de mercurio; si eso sucede continuamente, habrá liberación de entradas de mercurio a la atmósfera o los entornos acuáticos a través de la salida de desechos de la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### 5.8.4.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-171 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de la incineración de lodos cloacales

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Cantidad de lodos cloacales incinerados (de preferencia sobre la base de materia seca)	Concentración de mercurio en lodos cloacales incinerados (de preferencia sobre la base de materia seca) *1

Notas: \*1 Para los mismos lodos (y con el mismo contenido real de mercurio) la concentración a base de materia seca siempre será mayor que la concentración en materia húmeda. Es necesario aplicar siempre la misma base (húmeda o seca) para las cantidades de lodo y la concentración de mercurio en lodo al calcular las entradas de mercurio.

1107. Los datos más recientes sobre el contenido de mercurio de los lodos cloacales en Estados Unidos obtenidos mediante la Encuesta Nacional de Lodos Cloacales 1988 muestran una concentración media de mercurio de 5.2 ppmwt (partes por millón por peso = g de Hg/tonelada métrica). Datos anteriores, obtenidos a mediados de la década de 1970, indican que las concentraciones de mercurio en lodos cloacales municipales estuvieron en el rango de 0.1 - 89 ppmwt, con una media de 7 ppmwt y una mediana de 4 ppmwt. La US EPA recogió otros datos anteriormente,

a principios de la década de 1970, en 42 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, cuyo rango fue de 0.6 - 43 ppmwt, con una media de 4.9 ppmwt en materia sólida (US EPA, 1997a).

1108. En 1999, las concentraciones promedio de mercurio en muestras de lodos representativas de aproximadamente 95% de la producción total de lodos cloacales en Dinamarca arrojaron el dato de 1.2 g de Hg/tonelada métrica de lodo seco (materia seca). De esa cifra, alrededor de 41% se aplicó a tierras agrícolas o boscosas, aproximadamente 28% se incineró y el resto se depositó en un relleno sanitario o se almacenó o recibió otro tipo de tratamiento (Skårup *et al.*, 2003, con base en la EPA de Dinamarca, 2001).

1109. En Finlandia, la concentración promedio de mercurio en lodos cloacales es de 0.5 g/tonelada métrica (materia seca; Instituto Finlandés de Medio Ambiente, 2004).

1110. Lassen *et al.* (2004) presentan ejemplos de concentraciones de mercurio reportadas en los lodos cloacales municipales. En las ciudades más importantes (Moscú, San Petersburgo), las concentraciones son de 1-2 g de Hg/tonelada métrica (materia seca). Las concentraciones son más variables en las ciudades pequeñas: la mayor parte de los resultados están en el rango de 0.1-1 g de Hg/tonelada métrica (materia seca), mientras que 4 de las 14 ciudades más pequeñas tienen resultados en el rango de 2.4-10 g de Hg/tonelada métrica (materia seca).

#### 5.8.4.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

1111. Se usan diversos depuradores húmedos a fin de rocío de gota a baja presión, los ciclones húmedos, los depuradores venturi de gota a alta presión y las combinaciones venturi/depurador con bandeja de choque (US EPA, 1997a).

1112. La tabla 5-172 presenta factores de emisión elaborados por la US EPA a partir de diversos escenarios de control. Sin embargo, la concentración de mercurio en lodos y la efectividad de las tecnologías de control son muy variables, lo que afecta el alcance y la certidumbre de dichos factores.

1113. Si no se purga el sistema deliberadamente a través de otras salidas materiales (por ejemplo, depositando las cenizas o parte de los residuos de la limpieza de gases de salida en rellenos sanitarios), en principio las únicas vías de salida de mercurio serán las liberaciones atmosféricas a partir de la incineración y las liberaciones con las aguas residuales tratadas al abandonar la planta de tratamiento.

Tabla 5-172 Factores de emisiones atmosféricas de mercurio para incineradores de lodos cloacales en Estados Unidos

Tipo de incinerador	Dispositivo de control	Factor de emisiones atmosféricas de mercurio en g por toneladas métricas de lodos secos (g/toneladas métricas)
Chimeneas múltiples	Ciclón	2.3
Chimeneas múltiples	Ciclón y depurador venturi	1.6
Chimeneas múltiples	Depurador de choque	0.97
Chimeneas múltiples	Depurador venturi y depurador de choque	0.005
Lecho fluidizado	Depurador venturi y depurador de choque	0.03



1114. Estudios realizados en Alemania muestran que sólo entre 1 y 6% del mercurio suministrado con los lodos llega a las cenizas volantes separadas gracias a los precipitadores electrostáticos (Saenger *et al.*, 1999a).

1115. La figura 5-2 muestra la distribución de mercurio por la incineración de lodos cloacales en un incinerador de lodos con lecho fluidizado en Hamburgo, Alemania. La concentración de mercurio en los gases de escape sin tratar estuvo en un rango entre 500 y 950  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que en el gas limpio fue inferior a 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Saenger *et al.*, 1999b). El incinerador está equipado con un adsorbedor con inyección de una mezcla de carbono activado e hidrato de cal. El adsorbente se retira con un filtro fibroso que después se deposita en el incinerador.

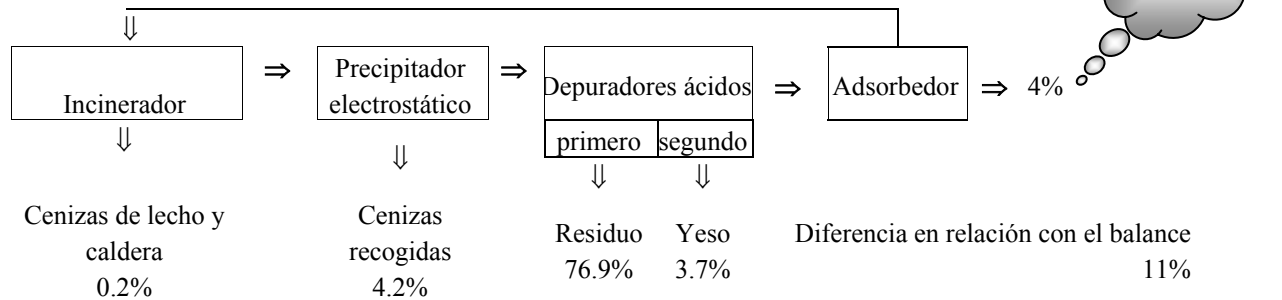


Figura 5-2 Balance de mercurio en una planta para la incineración de lodos cloacales en Hamburgo, Alemania (Saenger *et al.*, 1999b)

#### 5.8.4.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

1116. No se intentó establecer factores por defecto para esta subcategoría. Las entradas y las liberaciones de mercurio relacionadas al proceso de incineración de lodos dependen en gran medida de las cantidades de mercurio descargadas al sistema de tratamiento de aguas residuales.

1117. **Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio** – También es posible calcular el mercurio que se encuentra en los lodos y llega a la incineración de acuerdo con la sección sobre el tratamiento de aguas residuales. Evite la duplicación contable.

#### 5.8.4.6 Datos principales por fuente

1118. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Datos medidos o tomados de la literatura sobre las concentraciones de mercurio en los lodos quemados en la fuente;
- Cantidad de lodos quemados, y
- Datos medidos sobre los equipos para la reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

1119. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

### 5.8.5 Incineración informal de desechos

#### 5.8.5.1 Descripción de la subcategoría

1120. La incineración informal de desechos se define en el presente instrumental como la incineración que se lleva a cabo en condiciones de informalidad, en barriles, contenedores o al aire libre, sin control alguno para los gases de salida y con el consecuente esparcimiento difuso de residuos de la incineración sobre la tierra. Si los desechos contienen mercurio, una parte se liberará al aire y otra parte permanecerá en los residuos de la incineración (incluidos los desechos que no se hayan quemado o sólo se hayan semidegradado) con la posibilidad adicional de emitir más emisiones al aire, el agua subterránea y el agua superficial. Dada la volatilidad del mercurio, se espera que la mayor parte de este metal se libere al aire debido a la incineración informal de desechos. Este método puede

representar un riesgo inmediato para la comunidad donde se lleve a cabo, ya que no se aplican controles para las emisiones atmosféricas (de fuertes contaminantes) y los residuos pueden contaminar el agua subterránea de la localidad.

1121. Si se trata de un método muy difundido para la disposición de desechos en el país o la región objeto de estudio, podrán indicarse las posibles liberaciones de mercurio mediante 1) la cuantificación de entradas de mercurio con productos y materiales individuales como se describe en el presente instrumental, o 2) la aplicación de los factores de entradas por defecto de mercurio (concentraciones de mercurio en desechos municipales) descritos en la sección 5.8.1 (incineración de desechos municipales) y combinados con cálculos aproximados de cantidades de desechos incinerados informalmente por año. Sin duda, los cálculos resultantes no serán en absoluto precisos, pero aportarán cierto indicador sobre la magnitud de las liberaciones de mercurio a partir de la incineración informal de desechos.

**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

1122. Cabe destacar que las liberaciones de mercurio a la incineración informal de desechos y el vertido informal de desechos bajo las subcategorías de productos y materiales individuales se cuantifican como liberaciones directas a la tierra, el aire y el agua. Hay que evitar la duplicación contable. Sin embargo, es necesario tomar nota de que las entradas de mercurio a la incineración a partir de las concentraciones traza de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.) no se cuantifican de manera independiente en ninguna otra parte del presente instrumental.

## 5.9 Disposición de desechos/rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales

Tabla 5-173 Disposición de desechos/rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales: subcategorías con las principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos/residuos	Principal enfoque para el inventario
5.9.1	Rellenos sanitarios/depósitos controlados	x	x	X		X	EG
5.9.2	Disposición difusa con cierto grado de control	x	X	X		X	EG
5.9.3	Disposición local informal de desechos de la producción industrial	X	X	X			FP
5.9.4	Vertederos informales de desechos	X	X	X			EG
5.9.5	Sistemas/tratamiento de aguas residuales		X	X		x	EG/FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general; X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría; x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.9.1 Rellenos sanitarios/depósitos controlados

#### 5.9.1.1 Descripción de la subcategoría

1123. El contenido de mercurio en los desechos obedece a tres grandes rubros 1) el mercurio usado deliberadamente en productos desechados y residuos de procesos; 2) impurezas naturales de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, latas, etc.) y minerales, y 3) mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material. La separación cuantitativa entre la disposición, la incineración y otros tratamientos para los desechos varía de un país a otro. El vertido informal o carente de control puede ser importante en algunos países. También pueden variar los tipos de desecho (y, por lo tanto, de contenido de mercurio) permitidos en los rellenos sanitarios/depósitos, y a veces los depósitos que reciben más fracciones de desechos peligrosos (por ejemplo, sustancias químicas o residuos sólidos provenientes de la incineración de desechos) cuentan con mecanismos para proteger mejor las aguas subterráneas y otros medios ambientales.

1124. A lo largo de la historia de todo depósito/relleno sanitario se registran liberaciones de mercurio en pequeñas cantidades a través de las salidas líquidas (aguas de lixiviación y escurrimientos superficiales) y del aire debido a la lenta evaporación de mercurio a partir de los desechos. El destino del mercurio liberado con los fluidos depende en gran medida de la presencia y eficacia de recubrimiento protector debajo del depósito y otros sistemas para el manejo de aguas residuales. Si el agua no se recoge y recibe tratamiento de limpieza de aguas residuales, el mercurio (y otras sustancias) contaminarán el suelo y las aguas subterráneas debajo y alrededor del depósito. Si el agua es tratada, parte del mercurio llegará a los lodos residuales y al uso agrícola o de otro tipo, el resto seguirá la descarga de aguas después del tratamiento de aguas residuales (COWI, 2002).

1125. La mayor “liberación” de mercurio, en términos de las cantidades de mercurio asociadas a la disposición de desechos, ocurre, desde luego, en la acumulación real de desechos (y por ende de mercurio) *in situ*, posiblemente dando pie a impactos ambientales de largo plazo debido a excavaciones o procesos de urbanización.

1126. En lo que respecta a la “composición promedio” de desechos municipales, puede resultar útil a la cuantificación de liberaciones considerar la división de cantidades de desecho entre los diferentes tratamientos aplicados en el país; las cuantificaciones a partir de la incineración de desechos pueden aportar ciertos datos sobre el contenido general de mercurio en los desechos municipales.

1127. Según Lindberg *et al.* (2001), los rellenos sanitarios son las únicas fuentes antropogénicas medidas de dimetilmercurio, un tipo de mercurio que, junto al monometilmercurio, constituyen la principal fuente de efectos de mercurio en la población en general a través de la digestión de mariscos. El metilmercurio también se forma a partir del mercurio elemental (en fuentes antropogénicas y naturales) a través de procesos biológicos propios de la naturaleza (véase PNUMA, 2002).

1128. Shunlin Tang *et al.* (2004) identifican una tendencia clara de más liberaciones atmosféricas de mercurio (mercurio gaseoso total) a partir de desechos relativamente frescos durante el día que durante la noche. Esto podría indicar (como tal vez sería de esperarse) que la temperatura ambiente afecta las liberaciones atmosféricas de mercurio en los rellenos sanitarios. Otros factores cambiantes a lo largo del día (como la presión atmosférica) podrían influir en las concentraciones de mercurio de los gases de ventilación del relleno sanitario. En términos generales, podría esperarse que las liberaciones de mercurio con los gases de relleno sanitario sean mayores en regiones con alta temperatura ambiental debido a la relación entre la temperatura y la volatilidad del mercurio y el metilmercurio, y también quizás debido a la relación entre la temperatura y la actividad microbiana. Además de la concentración y la disponibilidad física del mercurio en los desechos, las temperaturas ambientales de cada región podrían ser un factor importante en la magnitud de liberaciones atmosféricas de mercurio producidas en los rellenos sanitarios.

### 5.9.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-174 Principales liberaciones y medios receptores a partir de rellenos sanitarios/depositos controlados

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector
Rellenos sanitarios	x	x	X		X	

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.9.1.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-175 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de los rellenos sanitarios/depositos controlados

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Cantidades de desechos depositados en el relleno sanitario	Concentración de mercurio en los desechos

1129. La sección 5.8.1 incluye comentarios sobre el contenido de mercurio en los desechos municipales y su incineración.

#### 5.9.1.4 Ejemplos de mercurio en las liberaciones

1130. La tabla 5-176 presenta ejemplos de concentraciones de mercurio en gases y deslaves por lixiviación o lixiviados en rellenos sanitarios.

1131. Lindberg *et al.* (2004) señalan que los flujos de mercurio a partir de los rellenos sanitarios no contienen únicamente gases de relleno sanitario, sino liberaciones registradas durante las operaciones de manejo en la superficie abierta del relleno sanitario; según Lindberg *et al.* (2004), las liberaciones directas suelen representar menos de 10% del total de liberaciones de mercurio en rellenos sanitarios.

1132. A partir de las mediciones de liberaciones de mercurio a través de las llamaradas de gas en el relleno sanitario, la cubierta del relleno sanitario y la superficie abierta donde se vierten nuevos desechos y aún no se han cubierto, Lindberg (2004) calculó que el total de las liberaciones atmosféricas producto de las operaciones de relleno sanitario municipal en el estado de Florida, EE.UU., se encuentran en el rango de 10 a 50 kg de mercurio por año. Las liberaciones de mercurio en la superficie abierta del relleno sanitario fueron más de diez veces superiores a las liberaciones de mercurio a través de las llamaradas de gas.

Tabla 5-176 Ejemplos de concentraciones de mercurio en gases y lixiviados en rellenos sanitario

País (ciudad)	Gases de relleno sanitario (ng/m <sup>3</sup> ) *1	Lixiviados (µg Hg/l)	Referencia y observaciones
México (Ciudad de México)	Rango en 4 rellenos: TMG 20-50; rango en un quinto relleno: TMG 1100-1500	Rango en los mismos 4 rellenos: 0.3-5; mismo quinto relleno: 9	De la Rosa <i>et al.</i> , 2004; 5 rellenos sanitarios, desechos municipales provenientes de la zona metropolitana de la Ciudad de México
Corea	Promedio: TMG 420		Kim y Kim, 2002, según cita de De la Rosa <i>et al.</i> , 2004
EE.UU. (Florida)	8 rellenos activos: Rango de promedios <i>in situ</i> : TMG 340 - 12000 (6 sitios con TMG superior a 1390, 4 sitios con TMG superior a 6900) 4 rellenos cerrados: Rango de promedios de sitio: TMG 10 – 140		Lindberg <i>et al.</i> , 2004; incluye concentraciones medidas de DMHg y MMHg
EE.UU. (Minnesota)	Promedio de un relleno cerrado: TMG 8600		Lindberg <i>et al.</i> , 2004
EE.UU. (Delaware)	Promedio de un relleno activo: TMG 410		Lindberg <i>et al.</i> , 2004
EE.UU. (California)	Promedio de un relleno cerrado: TMG 4700		Lindberg <i>et al.</i> , 2004
China (Guiyang, capital de la provincial de Guizhou)	Gases de ventilación en desechos municipales con 6 meses de antigüedad: TMG: 666 Gases de ventilación en desechos municipales con 12 meses de antigüedad: TMG: 25.6 Gases de ventilación en desechos con 24 meses de antigüedad: TMG: 14.5		Shunlin Tang <i>et al.</i> , 2004. En desechos municipales.
Dinamarca		0.5	Maag <i>et al.</i> , 1996; usado en referencia a un promedio estimado en Dinamarca

Notas: \*1 TMG = total de mercurio gaseoso (incluye todos los tipos de mercurio gaseoso presentes);  
MMHg: monometilmercurio (orgánico), DMHg: dimetilmercurio (orgánico).

### 5.9.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

1133. Los datos reales sobre los niveles de mercurio en los desechos (por ejemplo, establecidos con los procedimientos que indica el presente instrumental) arrojarán los mejores cálculos de las entradas de mercurio a los rellenos sanitarios.

1134. Si no se dispone de información sobre la concentración de mercurio en los desechos municipales, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto seleccionados en la tabla 5-177 (a partir de las series de datos presentadas en la sección 5.8.1, dedicada a la incineración de desechos municipales). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado

máximo. Se espera que el factor mínimo de entradas sea relevante en una situación en la que se han clasificado y separado partes importantes de los productos de desecho con alta concentración de mercurio (termómetros, pilas, desechos de amalgamas dentales, interruptores, etc.) para su tratamiento independiente, por lo que su número será menor en los desechos municipales. Se espera que el factor máximo de entradas sea relevante en situaciones carentes de esa clasificación y separación de desechos, y donde la mayor parte de las concentraciones altas de mercurio se encuentra en los desechos municipales. Como ya se dijo, los niveles de mercurio en los desechos dependen directamente, desde luego, del consumo de productos y materiales con contenido de mercurio en el país en cuestión.

1135. Debido a la falta de datos, no es posible definir un factor general de entrada por defecto para los rellenos sanitarios de desechos peligrosos.

Tabla 5-177 Factores *preliminares* de entrada por defecto para el mercurio en desechos municipales

Material	Factores de entrada por defecto; g de Hg/tonelada métrica de desechos; (mínimo - máximo) *1
Desechos sólidos municipales (desechos “domésticos” generales) *1	1 - 10

Notas: \*1 Se espera que el factor mínimo de entradas sea relevante en una situación en la que se han clasificado y separado partes importantes de los productos de desecho con alta concentración de mercurio (termómetros, pilas, desechos de amalgamas dentales, interruptores, etc.) para su tratamiento independiente, por lo que su número será menor en los desechos municipales. Se espera que el factor máximo de entradas sea relevante en situaciones carentes de esa clasificación y separación de desechos, y donde la mayor parte de las concentraciones altas de mercurio se encuentra en los desechos municipales. Como ya se dijo, los niveles de mercurio en los desechos dependen directamente, desde luego, del consumo de productos y materiales con contenido de mercurio en el país en cuestión.

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

1136. No fue posible establecer factores de distribución de salidas correlacionados con las entradas a partir de los principios generales del presente instrumental.

1137. En el caso de los rellenos sanitarios municipales, las contribuciones preliminares por defecto a las liberaciones atmosféricas a través de las emisiones de gases de relleno sanitario se definieron con base en los datos presentados en esta sección. Cabe señalar que estos factores de emisión podrían subestimar las liberaciones atmosféricas, ya que no se incluyen las liberaciones de mercurio en la superficie abierta del relleno sanitario.

1138. Se considera que los datos sobre lixiviados disponibles no son suficiente para definir los factores por defecto de la liberación al agua.

Tabla 5-178 Factores *preliminares* por defecto de emisión sugeridos para el depósito de desechos municipales en rellenos sanitarios ( $\mu\text{g}$  de Hg/ $\text{m}^3$  gases de relleno sanitario liberados)

Etapa del ciclo de vida	Aire $\mu\text{g}$ de Hg/ $\text{m}^3$ de gases de relleno sanitario liberados	Agua $\mu\text{g}$ de Hg/ $\text{m}^3$ de gases de relleno sanitario liberados
Liberación desde el relleno sanitario	500 - 5000 +++	?

Notas: +++ Como lo describe el texto anterior, los gases del relleno sanitario sólo constituyen una fracción menor del total de las liberaciones atmosféricas de mercurio en rellenos

municipales; en algunos casos las emisiones derivadas de la superficie abierta del relleno sanitario serán mucho más altas.

### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

1139. En el caso de las subcategorías de tratamiento de desechos, es muy importante tener presente que el contenido de mercurio en los desechos surge de 1) el mercurio usado deliberadamente en productos desechados y residuos de procesos; 2) impurezas naturales de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.) y minerales, y 3) mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material. Cabe destacar que partes de esas entradas de mercurio pueden dirigirse a los desechos municipales, peligrosos y médicos.

1140. Por lo tanto, las liberaciones de mercurio al medio ambiente y depósitos de desechos a partir de estas subcategorías habrán de verse como consecuencia del mercurio presente en los productos que usa la sociedad.

1141. Asimismo, es posible calificar las entradas calculadas de mercurio a las subcategorías de tratamiento de desechos mediante la cuantificación de las entradas de mercurio a la sociedad con productos y materiales, como se describe en las secciones 5.4 - 5.6. Es necesario tomar precauciones para evitar la duplicación contable de salidas de mercurio durante la elaboración del inventario.

1142. Es importante subrayar que el presente instrumental no cuantifica individualmente las entradas de mercurio a la incineración a partir de las concentraciones traza de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.).

#### 5.9.1.6 Datos principales por fuente

1143. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Cantidad de desechos enviados a los rellenos sanitarios, y
- Concentración de mercurio en los desechos enviados a los rellenos sanitarios.

### 5.9.2 Disposición difusa con cierto grado de control

#### 5.9.2.1 Descripción de la subcategoría

1144. Esta subcategoría incluye la disposición de tipos especiales de desechos debajo de los caminos, en las construcciones, etc. con procedimientos controlados (con base en la evaluación de riesgos) y con cierta retención de contaminantes a partir de procesos de lavado, etc.; por ejemplo, los residuos de la incineración, las cenizas volantes a partir de la combustión de carbón y otros residuos sólidos. A la larga, este tipo de disposición podría causar liberaciones de mercurio a la tierra, las aguas subterráneas y superficiales, y la atmósfera, por lo que puede ser de interés como fuente posible de mercurio en circunstancias particulares. La subcategoría cubre desechos que por lo general se producen en grandes cantidades.

1145. El presente instrumental no pretende cuantificar esta subcategoría por separado, pero la incluye en el rubro de subcategorías de generación de desechos, donde en términos generales se le designa como salidas a “tratamiento/disposición específica por sector” y se añade una nota descriptiva.

### 5.9.3 Disposición local informal de los desechos de la producción industrial

#### 5.9.3.1 Descripción de la subcategoría

1146. En muchos países se ha demostrado que las actividades de producción vinculadas tradicionalmente al uso y la liberación de mercurio implican la disposición local (muchas veces *in situ*) de desechos con alto contenido de mercurio. No se intentó recopilar evidencias de actividades similares en curso para el presente instrumental, pero no hay que descartarlas, particularmente en



países con normas menos estrictas o un cumplimiento relajado de la ley en este tipo de actividades industriales.

1147. Los incidentes de disposición informal o ilegal de desechos industriales con alto contenido de mercurio tienen un carácter local o nacional, y es difícil presentar una descripción general del fenómeno; sólo cabe decir que es muy probable que ocurran en actividades industriales catalogadas en la sección 5.11, “puntos calientes potenciales”.

1148. La disposición informal de desechos de mercurio puede contaminar seriamente la localidad y es, por ende, una importante fuente de posibles liberaciones de mercurio que debe identificarse e investigarse por separado.

## 5.9.4 Vertederos informales de desechos

### 5.9.4.1 Descripción de la subcategoría

1149. Los vertederos informales de desechos se definen como procesos que ocurren en condiciones de informalidad, sin control público ni medidas preventivas para minimizar las liberaciones de contaminantes a los alrededores. Si hay mercurio en los desechos, existe la posibilidad de que haya liberaciones a la tierra, el aire, las aguas subterráneas y las aguas superficiales. Este método de disposición de desechos puede representar un riesgo inmediato para la comunidad donde se lleve a cabo, ya que el mercurio (y otras sustancias) pueden contaminar el agua subterránea de la localidad.

1150. Si se trata de un método muy difundido para la disposición de desechos en el país o la región objeto de estudio, podrán indicarse las posibles liberaciones de mercurio mediante 1) la cuantificación de entradas de mercurio con productos y materiales individuales como se describe en el presente instrumental, o 2) la aplicación de los factores de entradas por defecto de mercurio (concentraciones de mercurio en desechos municipales) descritos en la sección 5.8.1 (incineración de desechos municipales) y combinados con cálculos aproximados de cantidades de desechos vertidos informalmente por año. Sin duda, los cálculos resultantes no serán en absoluto precisos, pero aportarán cierto indicador sobre la magnitud de las liberaciones de mercurio a partir del depósito de desechos en vertederos informales.

1151. **Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio** – Cabe destacar que las liberaciones de mercurio a la incineración informal de desechos y el vertido informal de desechos bajo las subcategorías de productos y materiales individuales se cuantifican como liberaciones directas a la tierra, el aire y el agua. Hay que evitar la duplicación contable. Sin embargo, es importante subrayar que en ninguna otra parte del presente instrumental se cuantifican individualmente las entradas de mercurio a la incineración a partir de las concentraciones traza de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel).

## 5.9.5 Sistemas/tratamiento de aguas residuales

### 5.9.5.1 Descripción de la subcategoría

1152. Los factores más importantes para las liberaciones de mercurio a partir de las aguas residuales son la cantidad de desechos con contenido de mercurio que se descargan al sistema y la concentración de mercurio en tales desechos. El contenido de mercurio en las aguas residuales tiene su origen en dos grandes rubros: 1) el mercurio usado deliberadamente en productos y procesos (amalgamas dentales, derrames del contenido de termómetros y otros aparatos, descargas industriales); 2) mercurio atmosférico que baja con las lluvias y llega a los sistemas de aguas residuales (originado en fuentes antropogénicas y naturales). Como tal, el tratamiento de aguas residuales es una fuente intermediaria de liberaciones de mercurio en la que las entradas procedentes de la contaminación primaria por mercurio se distribuyen en las vías de desagüe (con las aguas tratadas), la tierra (mediante la aplicación de lodos como fertilizantes) y el aire (mediante la incineración y aplicación de lodos). Además, algo de lodo llega a los rellenos sanitarios.

1153. La separación cuantitativa entre las partes de las aguas residuales que llegan a los sistemas (de tratamiento) de aguas públicas y las aguas residuales que se descargan directamente a los medios acuáticos es variable de un país a otro, y tal vez incluso entre las diversas regiones o localidades del mismo país. Puede ocurrir lo mismo en relación con el grado de remoción de mercurio que se logra con sistemas de tratamiento antes de descargar el agua al medio ambiente (la eficacia en la retención de mercurio puede variar considerablemente en función de las características de cada planta). Esta subcategoría también incluye a los sistemas de tubería de aguas residuales que llevan las aguas servidas directamente al mar o el océano sin pasarlas por algún método de depuración.

1154. Los sistemas para el tratamiento de aguas residuales son instalaciones que reciben las aguas servidas domésticas e industriales, las limpian, filtran y tratan con diversos métodos a fin de retirar materiales dañinos y producir agua lo suficientemente limpia para descargarla en vías fluviales locales, como los ríos y océanos. La planta tradicional cuenta con un sistema de recolección, una serie de procesos para retirar contaminantes sólidos, orgánicos y de otros tipos, y una serie de procesos para manejar y tratar lodos. Además, los sistemas pueden incluir alcantarillas de intercepción, alcantarillas de desagüe, sistemas de recolección por alcantarillas, bombas, fuentes de energía y otros equipos (US EPA, 1998).

### 5.9.5.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-179 Principales liberaciones y medios receptores en sistemas/tratamiento de aguas residuales

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Sistema/tratamiento de aguas residuales		X	X		x	x

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

1155. Algunas de las grandes industrias cuentan con instalaciones particulares para la limpieza de aguas residuales. En algunos casos y países, ya sea que se trate de sistemas industriales o municipales de aguas, pueden registrarse descargas directas de aguas residuales no tratadas. Los sistemas de tubería de aguas residuales que reciben tanto las aguas residuales como el agua de lluvia que cae a las calles y otros tipos de escorrentías son más proclives a acusar incidentes de liberaciones directas en forma periódica debido a las fuertes lluvias (los grandes volúmenes de líquido hacen que no todas las aguas residuales pasen por los sistemas de tratamiento) (COWI, 2002).

1156. En los sistemas de tratamiento con lodos activados o los sistemas con alta retención de material particulado, partes importantes del mercurio en las aguas residuales llegará a los lodos (por citar un ejemplo, casi 50% en Dinamarca), es decir, las concentraciones de mercurio en los desagües se reducirán en comparación con las concentraciones en las aguas de entrada. En algunos países se prefiere el esparcimiento de lodos de aguas residuales en tierras agrícolas como fertilizante y pueden aplicarse límites a las concentraciones permitidas de mercurio. Otras fracciones de lodos (particularmente los lodos cuyas concentraciones de contaminantes superan los límites) se depositan en rellenos sanitarios o se incineran (sección 5.8.4). Algunas instalaciones para el tratamiento de aguas residuales cuentan con su propia planta de incineración de lodos; otros procesos de incineración se llevan a cabo en instalaciones municipales.

1157. En muchos casos parecería que se han subestimado las liberaciones de mercurio en aguas residuales. Por citar un ejemplo, una evaluación regional realizada en el Mar Báltico indica que sólo una pequeña parte de las entradas de mercurio a esta masa de agua proviene de la disposición atmosférica (COWI, 2002).

### 5.9.5.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-180 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de los sistemas/tratamiento de aguas residuales

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Cantidades de aguas residuales tratadas o transportadas	Concentraciones promedio de mercurio en aguas residuales de entrada

1158. Si se está trabajando en la elaboración de inventarios exhaustivos de liberaciones (por ejemplo, a partir del presente instrumental), lo anterior puede constituir un enfoque para cotejar la cuantificación de entradas de mercurio al sistema de aguas residuales. Véase, por ejemplo, Skårup *et al.* (2003).

Tabla 5-181 Promedios y percentiles para las concentraciones de mercurio en las aguas de entrada y desagües de plantas para el tratamiento de aguas residuales en Dinamarca en 2001 (EPA de Dinamarca, 2002, según cita de Skårup *et al.*, 2003)

Aguas de entrada a la planta ( $\mu\text{g de Hg/l}$ )			Descargas desde la planta ( $\mu\text{g de Hg/l}$ )		
Promedio	5° percentil	95° percentil	Promedio	5° percentil	95° percentil
0.5	0.1	1.6	0.17	0.02	0.39

1159. La tabla 5-181 muestra concentraciones de mercurio en aguas de entrada y desagües de las plantas para el tratamiento de aguas residuales. En Dinamarca, la mayoría de las fuentes de liberaciones de mercurio se redujeron significativamente en 2001; alrededor de 1993, las concentraciones promedio en las aguas de entrada a algunas de las principales plantas para el tratamiento de aguas residuales se encontraban en el rango de 1.1-3.4  $\mu\text{g de mercurio/l}$  (Maag *et al.*, 1996). A partir de las cifras presentadas en la tabla 5-181 y su combinación con datos exhaustivos sobre las concentraciones de mercurio en lodos cloacales municipales, puede calcularse que alrededor de 50-70% de la entrada de mercurio a estas plantas danesas en 2001 se retuvo en los lodos (según Skårup *et al.*, 2003). Los diseños de las plantas para el tratamiento de aguas residuales en Dinamarca favorecen los tipos prolongados de retención y la altamente eficaz producción y retención de lodos (gracias a la disminución de otros contaminantes) y, por ende, la retención de mercurio en lodos en ese país debería de considerarse dentro del rango máximo mundial.

### 5.9.5.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

#### Mercurio en aguas de salida en las plantas para el tratamiento de aguas residuales

1160. Ver datos previos sobre Dinamarca.

#### Mercurio en lodos cloacales

1161. Los datos más recientes sobre el contenido de mercurio de los lodos cloacales en Estados Unidos obtenidos mediante la Encuesta Nacional de Lodos Cloacales 1988 muestran una concentración media de mercurio de 5.2 ppmwt (partes por millón por peso = g de Hg/tonelada métrica). Datos anteriores, obtenidos a mediados de la década de 1970, indican que las concentraciones de mercurio en lodos cloacales municipales estuvieron en el rango de 0.1 - 89 ppmwt, con una media de 7 ppmwt y una mediana de 4 ppmwt. La US EPA recogió otros datos anteriormente, a principios de la década de 1970, en 42 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, cuyo rango fue de 0.6 - 43 ppmwt, con una media de 4.9 ppmwt en materia sólida (US EPA, 1997a).

1162. En 1999, las concentraciones promedio de mercurio en muestras de lodos representativas de aproximadamente 95% de la producción total de lodos cloacales en Dinamarca arrojaron el dato de 1.2

g de Hg/tonelada métrica de lodo seco (materia seca). De esa cifra, alrededor de 41% se aplicó a tierras agrícolas o boscosas, aproximadamente 28% se incineró y el resto se depositó en un relleno sanitario o se almacenó o recibió otro tipo de tratamiento (Skårup *et al.*, 2003, con base en la EPA de Dinamarca, 2001).

1163. En Finlandia, la concentración promedio de mercurio en lodos cloacales es de 0.5 g/tonelada métrica (materia seca). 94% de los lodos se esparce en la tierra o se usa en las obras de mantenimiento del suelo en parques, jardines y tierras agrícolas, mientras que 6% llega a los rellenos sanitarios (Instituto Finandés de Medio Ambiente, 2004).

1164. Lassen *et al.* (2004) presentan ejemplos de las concentraciones de mercurio reportadas en lodos cloacales municipales. En las ciudades más importantes (Moscú, San Petersburgo), las concentraciones son de 1-2 g de Hg/tonelada métrica (materia seca). Las concentraciones son más variables en las ciudades pequeñas: la mayor parte de los resultados están en el rango de 0.1-1 g de Hg/tonelada métrica (materia seca), mientras que 4 de las 14 ciudades más pequeñas tienen resultados en el rango de 2.4-10 g de Hg/tonelada métrica (materia seca). Sólo una parte de los lodos cloacales obtenidos en Rusia se usa como fertilizante (quizás menos de 15%). La mayor parte se lleva al relleno sanitario o se vierte en canteras después de un largo proceso de desecación y asentamiento en lechos cloacales (Lassen *et al.*, 2004).

#### **5.9.5.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas**

##### **a) Factores por defecto de entrada de mercurio**

1165. Hasta ahora no se han recopilado datos suficientes para definir factores por defecto que reflejen las condiciones reales en las plantas para el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, es posible que en muchos países haya datos específicos locales o nacionales importantes. En todo caso y a fin de permitir la formulación de cálculos indicativos de liberaciones a partir de esta fuente, se elaboraron estimados de las entradas por defecto con base en los datos disponibles sobre las concentraciones de mercurio en lodos cloacales y eficacias para la retención de mercurio. Es posible aplicar dichos factores por defecto si no se dispone de datos nacionales o específicos por fuente.

1166. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

1167. Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y se espera que el factor máximo dé por resultado un estimado máximo.

1168. Desde luego, los niveles de mercurio en las aguas residuales dependen directamente del consumo de productos con contenido de mercurio y los materiales en el país en cuestión. Se espera que el factor mínimo de entradas sea pertinente para una situación con una actividad económica tan menor que el consumo de productos con mercurio sea bajo y el uso industrial de mercurio sea insignificante, o para países donde la mayor parte del uso de este metal haya sido sustituida por productos y procesos sin mercurio.

Tabla 5-182 Factores **preliminares** de entrada por defecto para el mercurio en los sistemas/tratamiento de aguas residuales

Material	Factores de entrada por defecto; µg de Hg/l de aguas residuales; (mínimo - máximo)
Aguas residuales municipales	0.5 – 10

**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

Tabla 5-183 Factores **preliminares** de distribución por defecto en las salidas de mercurio a partir de los sistemas/tratamiento de aguas residuales

Tipo de planta para el tratamiento de aguas residuales	Factores por defecto de distribución de salidas, porción de entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/di sposición específicos por sector *1
Sin tratamiento; liberación directa desde el caño		1				
Sólo tratamiento mecánico		0.9			0.1	
Tratamiento mecánico y biológico (lodo activado); no hay aplicación de lodos a la tierra		0.5			0.3	0.2
Tratamiento mecánico y biológico (lodo activado); 40% de los lodos se usan en la tierra		0.5	0.2		0.15	0.15

Notas: \*1 Incineración de lodos. La distribución mostrada entre los desechos generales y la incineración es arbitraria. Si es posible, aplique cálculos de distribución real.

**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

1169. En el caso de las subcategorías de tratamiento de desechos es importante recordar que el contenido de mercurio en el flujo de desechos generales surge a partir de tres grandes grupos: 1) mercurio usado deliberadamente en productos desechados y residuos de procesos; 2) impurezas naturales de mercurio en grandes volúmenes de material (plásticos, papel, etc.) y minerales, y 3) mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material. Las concentraciones de mercurio dependen directamente de las entradas de este metal a los desechos y, por ende, variarán considerablemente de país a país y en función de las circunstancias. Por lo tanto, las liberaciones de mercurio al medio ambiente y depósitos de desechos a partir de estas subcategorías habrán de verse como consecuencia del mercurio presente en los productos que usa la sociedad.

1170. Asimismo, es posible calificar las entradas calculadas de mercurio a las subcategorías de tratamiento de desechos mediante la cuantificación de las entradas de mercurio a la sociedad con productos y materiales, como se describe en las secciones 5.4 - 5.6. Es necesario tomar precauciones para evitar la duplicación contable de salidas de mercurio durante la elaboración del inventario.

1171. También es posible calcular el mercurio en lodos transportados para su incineración en la sección así identificada (incineración de lodos). Es importante evitar la duplicación contable.

### 5.9.5.6 Datos principales por fuente

1172. En este caso, los datos principales por fuente más importantes serían:

- Mediciones de las concentraciones de mercurio en el agua en los conductos de entrada y de salida en una muestra representativa de plantas de tratamiento de aguas residuales y en los lodos cloacales resultantes;
- Cantidad de aguas residuales tratadas y cantidad de lodos cloacales producidos, y
- Cálculos sobre la distribución real de lodos cloacales entre la tierra, los rellenos sanitarios y los procesos de incineración.

## 5.10 Crematorios y cementerios

Tabla 5-184 *Crematorios y cementerios: subcategorías con principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario*

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos/residuos	Principal enfoque para inventario
5.10.1	Crematorios	X				x	EG
5.10.2	Cementerios			X			EG

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.10.1 Crematorios

#### 5.10.1.1 Descripción de la subcategoría

1173. La cremación es una práctica común en muchas sociedades a fin de incinerar cadáveres humanos. El proceso de cremación causa liberaciones de mercurio, la mayor parte del metal liberado obedece a la presencia de empastes dentales con amalgamas de mercurio. Sin embargo, las pequeñas cantidades de mercurio que pueden estar presentes en tejidos, como la sangre y el cabello, también se liberan durante la cremación.

1174. Los componentes esenciales de la cremación son el féretro (con el cadáver), la cámara de combustión principal y, cuando la hay, la cámara de postcombustión o antipolución. En algunos casos, se dispone de un separador de polvos o algún tratamiento sofisticado para los gases. Por último, los gases salen por el cañón de la chimenea. La mayoría de los hornos crematorios funcionan con petróleo o gas natural, algunos con electricidad. Por lo general, los crematorios se encuentran en el interior de las ciudades, cerca de las zonas residenciales y lo más común es que sus chimeneas sean relativamente bajas (PNUMA, 2003).

1175. Todos los años se lleva a cabo un gran número de cremaciones en el mundo. Por ejemplo, en 1995 se registraron aproximadamente 488,224 cremaciones en los 1,155 crematorios de Estados Unidos.

#### 5.10.1.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-185 *Principales liberaciones y medios receptores en crematorios*

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/disposición específicos por sector
Crematorios	X					x

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

1176. Se reporta que el aire es el principal “medio receptor” del mercurio liberado durante la cremación (NJ MTF, 2002). Ya que el proceso de cremación implica altas temperaturas y la mayoría de los crematorios cuenta con limitados mecanismos para controlar las emisiones de mercurio, se espera que gran parte del mercurio de los cadáveres cremados se libere al aire a través de la chimenea. Sin embargo, algunos crematorios disponen de eficaces controles de emisión y parte importante del mercurio puede llegar a las cenizas volantes y otros residuos. Además, un pequeño porcentaje de

mercurio puede quedarse en el material de ladrillo del crematorio y un porcentaje muy pequeño puede encontrarse en las cenizas (con base en un estudio del Dr. T. Thomassen, citado por Reindl, 2003).

### 5.10.1.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-186 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de los crematorios

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Número de cadáveres cremados	Cantidad promedio de mercurio en cada cadáver

1177. La cantidad de mercurio en cada cadáver varía considerablemente y depende en gran medida del número de empastes dentales con amalgama y, en menor medida, del tamaño de los empastes. En Dinamarca, el empaste tradicional (colocado en la boca) contiene entre 0.2 y 0.6 g de mercurio; en promedio, aproximadamente 0.4g de mercurio/empaste. En 2001 se calculó que el contenido promedio de mercurio en los empastes de cadáveres en Dinamarca fue 4.1 g de mercurio por cuerpo (Skårup *et al.*, 2003). El contenido total de mercurio de 41,000 cadáveres cremados en 2001 fue de 170 kg y el informe calcula que, de esa cantidad, prácticamente 100% fue liberado a la atmósfera, pues los crematorios no contaban con controles de emisión.

1178. A partir de la información de NJ MTF (2002), cada cadáver de Nueva Jersey, Estados Unidos, contiene entre 0.8 y 5.6 gramos de mercurio, con una media de 2.9 g por cadáver debido a la presencia de empastes. Se ha calculado que la cantidad de mercurio adicional en cada cuerpo debido a la presencia del metal en otros tejidos (sangre, cabello, etc.), la cual obedece básicamente al consumo de pescado y otros tipos de exposición, está en el rango de  $1 \times 10^{-5}$  - 0.1 g de mercurio (Reindl, 2003).

1179. En los Países Bajos, las investigaciones indican que, debido a las diferencias en el número de empastes en los diversos grupos de edad, la cantidad promedio de empastes pasará de 3.2 a 5.1 en el período 1995-2020 (OSPAR, 2002). Esto significa que las emisiones provenientes de crematorios en los Países Bajos se duplicarán entre 2002 y 2020 a menos que apliquen medidas reductivas.

1180. En una revisión del mercurio emitido a partir de las cremaciones en el Reino Unido, se calcula que los empastes con amalgama contienen, en promedio, 0.6 g de mercurio, pero otros cálculos mencionados en el mismo informe señalan un rango de 0.36 - 1 g por empaste (Passant, 2004). El autor considera que la emisión de mercurio por cremación ha aumentado a un ritmo constante, pasando de 0.49 g/cremación en 1968 a 1.92 g/cremación en 2003 debido al mayor número de empastes con amalgama y al menor número de personas desdentadas (Passant, 2004). En 1969, 73% de los fallecidos eran desdentados; sólo 44% lo eran en 2003. Se espera que continúe la tendencia a observar mayores cantidades de mercurio por cremación y se calcula que el total de emisiones en crematorios británicos (a menos que se apliquen mejores controles) pasará de 0.78 toneladas métricas registradas en 1999 a 1.3 toneladas métricas en 2020 (DEFRA, 2004).

### 5.10.1.4 Ejemplos de mercurio en liberaciones y desechos/residuos

1181. Se calcula que las emisiones totales de mercurio a partir de todas las cremaciones en Estados Unidos en 1995 (total aproximado: 488,224 cremaciones) fue de 0.73 toneladas métricas (US EPA, 1997a). Sin embargo, estos cálculos se basan en una serie de datos (reportados por la US EPA, 1997a) obtenida mediante pruebas realizadas en un incinerador a base de propano en un crematorio de California (por parte de la Junta de Recursos Atmosféricos de California). Los resultados de estas pruebas sobre emisiones de mercurio en crematorios sin control de emisiones estuvieron en un rango de 0.626 - 2.26 g de mercurio/cadáver cremado; el factor promedio de emisiones de mercurio fue de 1.5 g/cadáver cremado (US EPA, 1997a).



1182. De acuerdo con una encuesta realizada por OSPAR sobre emisiones de mercurio en crematorios de países europeos, las emisiones por crematorio están en un rango entre 0.1 g (en Bélgica) y 2.3 g por cremación (en Francia), tabla 5-187. Cabe señalar que la sección anterior muestra cifras distintas para Dinamarca y el Reino Unido.

Tabla 5-187 Emisiones de mercurio en crematorios de algunos países europeos (con base en OSPAR, 2002)

País	Emisión calculada de Hg por año (kilos)	Número de crematorios	Número de cremaciones	Emisión promedio por cremación (g)
Noruega	70	42		
Suecia	122	71	65,002	1.9
Alemania	42-168	130	333,800	0.1 - 0.5
Países Bajos	80			
Bélgica	3.7		35,793	0.1
Islandia		1		
Irlanda		2		
Suiza	45	26	40,000	1.1
Francia	200	80	87,000	2.3
Portugal		4	2,311	

1183. En un documento de Hylander y Meili (2005) se calcula que las emisiones atmosféricas de mercurio a partir de la cremación son de 0.28 toneladas métricas por año en Suecia (Munthe *et al.*, 2001) o 0.03 g per capital al año en una población de 8.5 millones con 40–100 toneladas métricas de mercurio acumuladas en empastes dentales y una tasa de cremación de aproximadamente 65% (Munthe *et al.*, 2001; Rein y Hylander, 2000; SCB, 2002; todos citados en Hylander y Meili, 2005).

#### 5.10.1.5 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

1184. A partir de la información compilada sobre entradas y salidas y los y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

1185. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de la subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

1186. Los datos nacionales sobre los gramos de mercurio en empastes con amalgama por cadáver cremado arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

1187. Si no se dispone de información sobre el número de amalgamas de mercurio preparadas cada año, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-188 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la

entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo).

Tabla 5-188 Factores **preliminares** de entrada por defecto para el mercurio en el proceso de cremación

	<b>Factores de entrada por defecto; g de mercurio por cadáver; (mínimo - máximo)</b>
Cremación	1 - 4

#### b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio

Tabla 5-189: Factores **preliminares** de distribución por defecto en las salidas de mercurio a partir de la cremación

Etapa del ciclo de vida	Factores por defecto de distribución de salidas, porción de entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Cremación	1					

#### c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio

1188. Las liberaciones de mercurio a partir de la cremación están estrechamente vinculadas al uso de amalgamas dentales y la cremación constituye una de las vías de salida del uso de amalgamas. Ver la sección 5.6.1.

##### 5.10.1.6 Datos principales por fuente

1189. En este caso, los datos más importantes para esta fuente serán algunos o todos los siguientes:

- Datos sobre la cantidad promedio de mercurio por cadáver;
- Datos sobre el número promedio de empastes con amalgama de mercurio en el subgrupo de población humana que se espera cremar en la fuente;
- Cantidad promedio de mercurio por empaste;
- Cantidad de cadáveres humanos cremados, y
- Datos medidos sobre los equipos de reducción de emisiones usados en la fuente (o fuentes similares con equipos y condiciones de operación muy similares).

1190. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

## 5.10.2 Cementerios

### 5.10.2.1 Descripción de la subcategoría

1191. Los cementerios son los lugares donde se entierran cadáveres humanos.

1192. El mercurio contenido en el cuerpo humano, principalmente en los empastes dentales con amalgama, se libera a la tierra del cementerio.

### 5.10.2.2 Principales factores determinantes de las liberaciones y las emisiones de mercurio

Tabla 5-190 Principales liberaciones y medios receptores en los cementerios

Etapa del ciclo de vida	Aire	Agua	Tierra	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Entierro			X		

Notas: X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;

x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

### 5.10.2.3 Discusión de las entradas de mercurio

Tabla 5-191 Generalidades sobre los datos de tasa de actividad y los tipos de factor de entrada de mercurio necesarios para calcular las liberaciones provenientes de los cementerios

Datos necesarios de la tasa de actividad	Factor de entrada de mercurio
Número de cadáveres enterrados	Cantidad promedio de mercurio en cada cadáver

1193. En la sección 5.10.1.3 aparecen datos sobre la cantidad de mercurio por cadáver.

### 5.10.2.4 Factores de entrada y factores de distribución de salidas

1194. A partir de la información compilada sobre entradas y salidas y los y los principales factores que determinan las liberaciones, se sugieren los siguientes factores preliminares por defecto de entrada y distribución de salidas para su aplicación en casos en los que no se disponga de datos específicos por fuente. Se subraya que los factores por defecto sugeridos en el presente borrador preliminar del instrumental se fundamentan en una base de datos limitada y, por ende, deberá considerarse su carácter preliminar y tenerse en cuenta que las cifras están sujetas a modificación conforme crezca la base de datos.

1195. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de la subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

#### a) Factores por defecto de entrada de mercurio

1196. Los datos nacionales sobre los gramos de mercurio (en empastes con amalgama) por cadáver enterrado arrojarán los mejores cálculos de las liberaciones.

1197. Si no se dispone de información sobre el número de amalgamas de mercurio preparadas cada año, puede llegarse a un primer estimado aplicando los factores de entrada por defecto que aparecen en la tabla 5-192 (a partir de las series de datos presentadas en esta sección). Ya que las concentraciones varían considerablemente, se recomienda calcular y reportar intervalos para las entradas de mercurio en esta categoría de fuente. Los factores mínimos y por defecto indican un estimado mínimo para la entrada de mercurio a la categoría de fuente (mas no el mínimo absoluto) y el factor máximo dará por resultado un estimado máximo (mas no el máximo).

Tabla 5-192 Factores preliminares de entrada por defecto para el mercurio en cementerios

	Factores de entrada por defecto; g de mercurio por cadáver; (mínimo - máximo)
--	---

Entierro	1 – 4
----------	-------

**b) Factores por defecto de la distribución de salidas de mercurio**

Tabla 5-193: Factores preliminares de distribución por defecto en las salidas de mercurio en cementerios

Etapa del ciclo de vida	Factores por defecto de distribución de salidas, porción de entradas de Hg					
	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos generales	Tratamiento/ disposición específicos por sector
Entierro			1			

**c) Enlaces a otras fuentes de cálculo de mercurio**

1198. Las liberaciones de mercurio a partir de la cremación están estrechamente vinculadas al uso de amalgamas dentales y los entierros constituyen una de las vías de salida del uso de amalgamas. Ver la sección 5.6.1.

**5.10.2.5 Datos principales por fuente**

1199. En este caso, los datos más importantes para esta fuente serán algunos o todos los siguientes:

- Datos sobre la cantidad promedio de mercurio por cadáver;
- Datos sobre el número promedio de empastes con amalgama de mercurio en el subgrupo de población humana que se espera enterrar en la fuente;
- Cantidad promedio de mercurio por empaste, y
- Cantidad de cadáveres humanos enterrados.

1200. Véase también la orientación sobre la recopilación de datos en la sección 4.4.5.

## 5.11 Identificación de puntos calientes potenciales

Tabla 5-194 Puntos calientes potenciales: subcategorías con principales vías de liberación de mercurio y enfoque recomendado para el inventario

Capítulo	Subcategoría	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos/residuos	Principal enfoque para inventario
	Instalaciones de producción de cloroálcali cerradas o abandonadas	x	X	X		X	FP
	Otros viejos sitios de producción de sustancias químicas donde se producen/produjeron compuestos de mercurio (pesticidas, biocidas, pigmentos, etc.), o se usó mercurio o compuestos de mercurio como catalizadores (VCM/PVC, etc.)	x	X	X	x	X	FP
	Instalaciones cerradas de manufactura de termómetros, interruptores, pilas y otros productos	x	X	X	X	x	FP
	Instalaciones cerradas de pulpa y fabricación de papel (con producción interna de cloroálcali o antiguo uso de limocidas a base de mercurio)	x	X	X		X	FP
	Depósitos de relaves/residuos de extracción de mercurio	x	X	X	X	X	FP
	Depósitos de relaves/residuos de extracción de oro de manera artesanal y a gran escala	x	X	X		X	FP
	Depósitos de relaves/residuos de extracción de otros metales no ferrosos	x	X	X	X	X	FP
	Sitios donde se han registrado accidentes de relevancia	x	X	X		X	FP
	Dragado de sedimentos	x	X	X		X	FP
	Sitios de controles de calefacción urbana desechados (y otros controles de fluidos) con válvulas de presión de mercurio		X	X			FP
	Sitios de reciclado previo de mercurio (producción “secundaria” de mercurio)	x	X	X	X	X	FP

Notas: FP = Fuente puntual por enfoque de fuente puntual; EG = Enfoque nacional/general;  
 X - Vías de liberación que se espera sean predominantes en la subcategoría;  
 x - Otras vías de liberación a ser consideradas en función de la situación nacional y la fuente.

## 6 Referencias

1. ACAP (2005): Arctic Council Action Plan to Eliminate Pollution of the Arctic (ACAP) - Reduction of Atmospheric Mercury Releases from Arctic States, prepared for the Arctic Council by the Danish Environmental Protection Agency, 2005.
2. Achtenbosch, M. y Richers, U. (2002): Material flows and investment costs of flue gas cleaning systems of municipal solid waste incinerators. Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe, Alemania. Disponible en: <http://www.itas.fzk.de/deu/Itaslit/acri00a.pdf>.
3. Adebajo S.B. (2002): An epidemiological survey of the use of cosmetic skin lightening cosmetics among traders in Lagos, Nigeria. *West African Journal of Medicine* 21: 51-55.
4. Adriano, D.C. (2001): Trace Elements in the Terrestrial Environment, Springer-Verlag, Nueva York, NY, EE.UU., 2001.
5. AGHTM (2000): Mercury waste in France. AGHTM - General Association of Municipal Hygienists and technicians - Working Group Report. AGHTM, París. Disponible en: [http://www.apesa.asso.fr/mercure\\_AGHTM\\_english.pdf](http://www.apesa.asso.fr/mercure_AGHTM_english.pdf).
6. Agos, M., Etzel, R., Parrish, R., Paschal, D., Campagna, P., Cohen, D., Kilbourne, E. y Heese, J. (1990): Mercury exposure from interior latex paint, *New England Journal of Medicine*, 323, 1096-1101.
7. Airey, D. (1982): Contributions from Coal and Industrial materials to Mercury in Air, Rainwater and Snow, *Sci. total. Envir.* 25, 1982, pages 19 to 40.
8. Alcock, F. J. (1930): Zinc and lead deposits of Canada. *Can. Geol. Surv. Economic Geology Series*, no. 8, 406 p.
9. Alphen, M. van (1998): Paint film components. National Environmental Health Forum Monographs. General Series No. 2. National Environmental Health Forum, South Australia. Disponible en: <http://enhealth.nphg.gov.au/council/pubs/pdf/paint.pdf>
10. Amagerforbrænding (2000): Miljøreddegørelse 2000. [Environmental statement 2000]. I/S Amagerforbrændingen, Copenhagen. (en danés)
11. Anderson, D. (1973): Emission Factors for Trace Substances. EPA-450/2-72-001. U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. EPA-450/3-84-004. Emission Standards and Engineering Division, Research Triangle Park, NC.
12. Anscomb F. (2004): intercambio personal. US EPA, agosto de 2003 y marzo de 2004.
13. Arenholt-Bindslev D. y Larsen A.H. (1996): Mercury levels and discharge in waste water from dental clinics. *Water, air and Soil Pollution*. 86:93-99, 1996. As cited by Skårup *et al.*, 2003).
14. Arias, D., Boixereu, E., Zapardiel, J. M., Bernabé, M. y Sánchez, A. (1992): Estudio geoquímico de la esferalerita del yacimiento de Pd-Zn de Rubiales (Lugo, España). Implicaciones genéticas: *Rev. Soc. Geol. España*, v.5, p. 135-144.
15. Armbrust, G. A. y Gannicott, R. A. (1980): Rb/Ar ratios as a source indicator for hydrothermal fluids at the Seneca volcanogenic massive sulfide deposit, British Columbia. *Economic Geology*, v. 75, p. 466-470.
16. Barr (2001): Substance Flow Analysis of Mercury in Products. Prepared for Minnesota Pollution Control Agency. 15 de agosto de 2001. Barr Engineering, Minneapolis, MN.
17. Barr, L. (2004): International Mercury Market Study and the Role and Impact of US Environmental Policy. EPA Office of Solid Waste, noviembre de 2004.
18. Beaudoin, G. y Sangster, D. F. (1992): A descriptive model for silver-lead-zinc veins in clastic metasedimentary terranes. *Economic Geology*, v.87, p. 1005-1021.
19. Beckert, J., Einbrodt, H-J. y Fisher, M. (1990): Comparison of natural gypsum and FGD gyp-sum. Forschungsprojekt 88, VGB PowerTech e.V., Alemania.
20. Benner, B. R. (2001): Mercury removal from induration off gas by wet scrubbers. Coleraine Minerals Research Laboratory Draft Report. (citado en Berndt, 2003)
21. Berndt, M.E. (2003): Mercury and Mining in Minnesota. Minerals Coordinating Committee. Final Report. Minnesota Department of Natural Resources, St. Paul, Minnesota. Disponible en: [http://files.dnr.state.mn.us/lands\\_minerals/mercuryandmining.pdf](http://files.dnr.state.mn.us/lands_minerals/mercuryandmining.pdf).
22. Bischoff, J. L., Rosenbauer, R. J., Aruscavage, P. J., Baedecker, P. A. y Crock, J. C. (1983): Sea-floor massive sulfide deposits from 21° N, East Pacific Rise; Juan de Fuca Ridge; and Galapagos Rift: Bulk chemical composition and economic implications. *Economic Geology*, v.78, p. 1711-1720.
23. Bjørnstad, S.L. (1992): Assessment of possibilities for reducing the use of mercury - summary of experiences from the Nordic countries. Nordiske Seminar- og Arbejdsrapporter 1992:598. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
24. Bloom, N. S. (2000): Analysis and Stability of Mercury Speciation in Petroleum Hydrocarbons, *Fresenius' J. Anal. Chem.*, 366(5):438. 65.
25. Bouley, B. A. y Hodder, R. W. (1984): Strata-bound massive sulfide deposits in Silurian-Devonian volcanic rocks at Harborside, Maine. *Economic Geology*, v.79, p. 1693-1702.

26. Bowen, H.J.M. (1979): *Environmental Chemistry of the Elements*, Academic Press, Londres, Reino Unido, 1979.
27. Bragg, L.J., Oman, J.K., Tewalt, S.J., Oman, C.L., Rega, N.H., Washington, P.M. y Finkelmann, R.B. (1998): The US Geological Survey Coal Quality (COALQUAL) Database - version 2.0. US Geological Survey Open-file report 97-134 (can be downloaded from <http://energy.er.usgs.gov/products/openfile/OFR97-134/>). Según cita de USGS en hoja de datos "Mercury in U.S. coal - abundance distribution and modes of occurrence", encontrada en octubre de 2002 en <http://pubs.usgs.gov/fs/fs095-01/fs095-01.pdf>
28. Breskovska, V. y Tarkian, M. (1993): Mineralogy and fluid inclusion study of polymetallic veins in the Madjarovo ore field, eastern Rhodope, Bulgaria. *Mineral. Petrol.*, v.49, p. 103-118.
29. Brooks, G. (1989): Estimating Air Toxic Emissions from Coal and Oil Combustion Sources. EPA-450/2-89-001. Prepared by Radian Corporation for U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. Abril de 1989.
30. Bugge, J. A. W. (1978): Norway, in Bowie, S. H. U., Kvalheim, A., y Haslam, H. W., eds., *Mineral deposits of Europe*, vol. 1: Northwest Europe. London, *Inst. Min. Metallurg.*, p. 199-249.
31. BUWAL (1997): Waste Disposal in Cement Plants, Environment-materiales Nr. 70, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Berna, Suiza, 1997.
32. Cao, J. R. (1992): Microwave Digestion of Crude Oils and Oil Products for the Determination of Trace Metals and Sulphur by Inductively-Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy, Environment Canada Manuscript Report Number EE-140, Ottawa, Ontario, Canadá.
33. Carpi, A. y Chen, Y.F. (2001): Gaseous Elemental Mercury as an Indoor Pollutant. *Environ. Sci. Technol.* Vol 35:4170-4173.
34. Cavanagh, J. y Glover, M. (1991): Mines and miners in Peru. Lima, Perú Reporting Servicios Editoriales S.R.L., 371 p.
35. Cembureau (1999): Best available techniques for the cement industry. European Cement Association, Bruselas. Disponible en: [http://www.cembureau.be/Documents/Publications/CEMBUREAU\\_BAT\\_Reference\\_Document\\_2000-03.pdf](http://www.cembureau.be/Documents/Publications/CEMBUREAU_BAT_Reference_Document_2000-03.pdf)
36. Cerny, I. (1989): Die karbonatgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten des alpinen und ausseralpinen Mesozoikums - Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit für Prospektion und Bewertung. Viena, Archiv für Lagerstätten-forschung der *Geologischen Bundesanstalt*, v.11, p. 5-125.
37. CSE (2002): "Environmental Rating of Indian Caustic-Chlorine Sector". Centre for Science and Environment (CES), 2002, p.199.
38. Chu, P. y Porcella, D. B. (1994): "Mercury Stack Emissions From U. S. Electric Utility Power Plants", Proceedings of the Third International Conference on Mercury as a Global Pollutant, Whistler, British Columbia, Canadá, 10-14 de julio de 1994.
39. CIM (1957): Structural geology of Canadian ore deposits. Montreal, Canadian Institute of Mining and Metallurgy (CIM), *CIM*, 524 p.
40. COWI (2002): ACAP and Danish EPA Reduction of Atmospheric mercury emissions from Arctic countries – questionnaire on emissions and related topics. Noviembre de 2002.
41. Danish EPA (2000): Warning: Sale of mercury soaps is banned. Danish Environmental Protection Agency. Disponible en: <http://www.mst.dk/news/02010000.htm>
42. Danish EPA (2001): Spildevandsslam fra kommunale og private renseanlæg i 1999 (Waste water sludge from municipal and private sewage treatment plants in 1999). Orientering fra Miljøstyrelsen nr, 3, 2001. Danish EPA, Copenhagen (en danés).
43. Danish EPA (2002): Punktkilder 2001. Orientering nr. 7, 2002 (Point Sources 2001, Review no. 7, 2002). Danish EPA, Copenhagen (en danés).
44. De la Rosa, D.A., Volke-Sepúlveda, T. y Solórzano, G. (2004): Release of total gaseous mercury from municipal solid waste disposal sites nearby Mexico City. In *Mercury as a Global Pollutant, part 1, RMZ - Materials and Geoenvironment - periodical for mining, metallurgy and geology*, Liubliana, Eslovenia, 2004.
45. DEFRA (2004): Mercury emissions from crematoria. Second consultation. Department for Environment, Food and Rural Affairs; Welsh Assembly Government; Scottish Executive Environment and Rural Affairs Dept. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/corporate/consult/crematoria-two/consultation.pdf>
46. Del Giudice, P y Yves, P. (2002): The widespread use of skin lightening creams in Senegal: a persistent public health problem in West Africa. *The International Journal of Dermatology* 41: 69-72.
47. deLoraine, W. F. y Dill, D. B. (1982): Structure, stratigraphic controls, and genesis of the Balmat zinc deposits, northwest Adirondacks, New York. *Geol. Assoc. Can. Spec. Pap.* 25, p. 571-596.
48. DiFrancesco, D.T. y Shinn, R.C. (2002): Sources of mercury in New Jersey. New Jersey Mercury Task Force Report Volume III. New Jersey Department of Environmental Protection, Trenton. Disponible en: <http://www.state.nj.us/dep/dsr/Vol3-chapter1.pdf>
49. Douglas, R. J. W. ed. (1970): Geology and economic minerals of Canada. *Can. Geol. Surv. Economic Geology Report 1*, 838 p.
50. DPHE (2003): Mercury-free Colorado Campaign. Thermostat Recycling Program. Department of Public Health and Environment, Denver. Disponible en: <http://www.cdph.state.co.us/hm/mercury/therm.asp>

51. Dunmire C., Calwell C., Andria J., A., Ton M., Reeder, T., y Fulbright V. (2003): Mercury in Fluorescent Lamps: Environmental Consequences and Policy Implications for NRDC. Natural Resources Defense Council (NRDC), New York. Disponible en: <http://www.nwalliance.org/resources/reports/NRDCMercury.pdf>
52. Duo, W., Guthrie, T. y W. Edwards (2000): Mercury Emissions from The Petroleum Refining Sector In Canada, for Environment Canada, Trans-boundary Air Issues Branch, Hazardous Air Pollutants Program, Ottawa, Canadá, EC Contract: K2216-9- 0078.
53. Dvornikov, A. G. (1962): Mercury dispersion aureoles in limestone at the Gruzskaya Ravine polymetallic deposit (Nagol'nyi Range). *Geochemistry*, 1962, p. 539-546.
54. EMEP/ CORINAIR (2001): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 3rd edition, 2001, Technical report No 30. Disponible en [http://reports.eea.eu.int/technical\\_report\\_2001\\_3/en#TOC](http://reports.eea.eu.int/technical_report_2001_3/en#TOC). También EMEP/ CORINAIR (2002): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 3a edición, octubre de 2002 ACTUALIZACIÓN, Technical report No 30, EEA - European Environment Agency, Copenhagen, y EMEP (1999): Emission Inventory Guidebook. Septiembre de 1999.
55. Environment Canada (1999): Meeting the Challenges of Continental Pollutant Pathways. Mercury Case Study. Febrero de 1999. Disponible en: <http://www.eman-rese.ca/eman/reports>
56. Environment Canada (2000): The status of mercury in Canada. Report #2. A Background Report to the Commission for Environmental Cooperation North American Task Force on Mercury. Environment Canada, Transboundary Air Issues Branch. Disponible en: <http://www.cec.org/files/PDF/POLLUTANTS/Hgcan-e3.pdf>.
57. Environment Canada (2002): Environment Canada, Minerals and Metals Division, National Office of Pollution Prevention: Multi-pollutant emission reduction analysis foundation (MERAf) for the base metal smelter sector. Elaborado para Environment Canada y el Canadian Council of Ministers of Environment (CCME), Canadá. Disponible en [http://www.ccme.ca/assets/pdf/bms\\_final\\_merap\\_e.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/bms_final_merap_e.pdf) (acceso registrado en octubre de 2003).
58. Environment Canada (2003a): Fact Sheet #21 (Revised) Mercury-Containing Products. Disponible en: <http://www.on.ec.gc.ca/epb/fpd/fsheets/4021-e.html>
59. Environment Canada (2003b): What Is Mercury? Environment Canada, Ontario Region. Disponible en: <http://www.on.ec.gc.ca/pollution/fpd/merc/merc-1000-e.html> (13 de noviembre de 2003).
60. Environment Canada (2004): Personal communication. Air Pollution Prevention Directorate, Environment Canada, junio de 2004.
61. EuroChlor (1998): Mercury process for making chlorine. Agosto de 1998.
62. European Commission (2001): Integrated pollution prevention and control (IPPC) - Reference document on best available techniques in the non ferrous metals industry. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/Fmembers.htm> (acceso registrado en octubre de 2003).
63. European Commission (2001b): Integrated pollution prevention and control (IPPC) - Reference document on best available techniques in the chlor-Alkali Manufacturing industry. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/Fmembers.htm> (acceso registrado en octubre de 2005).
64. European Commission (2003): Draft reference document on best available techniques for management of tailings and waste rock in mining operations. Joint Research Centre, Sevilla, España. Disponible en: <http://eippcb.jrc.es/pages/Fmembers.htm> (acceso registrado en octubre de 2003).
65. European Commission (2005): Communication from the commission to the Council and the European Parliament - Community Strategy Concerning Mercury- {SEC(2005) 101}. Disponible en: <http://europa.eu.int/comm/environment/chemicals/mercury/>
66. Evans, D. W., DiGiulio, R.T y Ryan, E.A. (1984): "Mercury in Peat and its Drainage Waters in eastern North Carolina". The Water Resources Research Institute. Report No. 218. Septiembre de 1984.
67. Feng, X., Li, G. y Qiu, G. (2004): Mercury contamination from artisanal zinc smelting using indigenous methods in Hezhang, Guizhou, PR China. In Mercury as a Global Pulotant, part 1, RMZ - Materials and Geoenvironment - periodical for mining, metallurgy and geology, Liubliana, Eslovenia, 2004.
68. Filby, R. H, y Shah, K. R. (1975): Neutron Activation Methods for Trace Metals in Crude Oil, in The Role of Trace Metals in Petroleum, by T. F.Yen, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI.
69. Finkelman, B. (2003): Personal communication. United States Geological Survey (USGS), USA.
70. Finkelman, B. (2004): Personal communication. United States Geological Survey (USGS), EE.UU., marzo de 2004.
71. Finnish Environment Institute (1999): Atmospheric emissions of heavy metals in Finland in the 1990's. *The Finnish Environment* No. 329, Finnish Environment Institute, Helsinki (en finlandés).
72. Finnish Environment Institute (2003): Response to ACAP questionnaire on mercury releases, uses and wastes. Appendix to Maag (2004).
73. Fontboté, L. y Gorzawski, H. (1990): Genesis of Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit of San Vicente, central Peru: Geologic and isotopic (Sr, O, C, S, Ph) evidence. *Economic Geology*, v.85, p. 1402-1437.



74. Franklin Associates, Ltd. (1989): Characterization of Products Containing Mercury in Municipal Solid Waste in the United States, 1970 to 2000. EPA-530/SW-89-015A. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. Enero de 1989.
75. Franklin, J. M. y Mitchell, R. H. (1977): Lead-zinc-barite veins of the Dorion area, Thunder Bay district, Ontario. *Can. Jour. Earth Sci.*, v.14, p. 1963-1979.
76. Franklin, J. M., Lydon, J. W., y Sangster, D. F. (1981): Volcanic-associated massive sulfide deposits. *Economic Geology* 75th Anniv. Vol., p. 485-627.
77. Friedli, H.R., Radke, L.F. y Lu, J.Y. (2001): Mercury in Smoke from Biomass Fires. *Geophysical Research Letter*, 28: 3223-3226. Disponible en: <http://www.mindfully.org/Air/Mercury-Smoke-Biomass.htm>
78. Fruth, I. y Maucher, A. (1966): Spurenelemente and Schwefel-Isotope in Zinkblenden der Blei-Zink-Lagerstätte von Gorno. *Mineral. Deposita*, v.1, p. 238-250.
79. Fryklund, V. C., Jr. y Fletcher, J. D. (1956): Geochemistry of sphalerite from the Star mine, Coeur d'Alene district, Idaho. *Economic Geology*, v.51, p. 223-247.
80. Fugleberg, S. (1999): Finnish expert report on best available techniques in zinc production. The Finnish Environment series 315, Finnish Environment Institute, Helsinki. Disponible en <http://www.vyh.fi/eng/orginfo/publica/electro/fe315/fe315.htm>
81. Fujinuki, T. (1979): Trace Components of Carbonate Rocks, Kozan Chishitsu, Japón, 23, pp. 295 a 306, 1979.
82. Fukuzaki, N., Tamura, R., Hirano, Y. y Mizushima, Y. (1986): Mercury Emission from a Cement Plant and its Influence on the Environment, *Atmospheric Environment*, Vol., 20, No. 12, 1986, pp. 2291 a 2299.
83. Fursov, V. Z. (1958): Halos of dispersed mercury as prospecting guides at the Achisai lead-zinc deposits. *Geochemistry (1958)*, p. 338-344.
84. Fursov, V.Z. (1983): Gas-and-Mercury Method for Mineral Products. Moscow, "Nauka" Publishers, 1983. – 205 p. Según cita de Lassen *et al.* (2004).
85. Galligan, C., Morose, G. y Giordani, J. (2003): An Investigation of Alternatives to Mercury Containing Products. Prepared for The Maine Department of Environmental Protection, 22 de enero de 2003. Disponible en: <http://www.state.me.us/dep/mercury/lcspfinal.pdf>
86. Glahder, C.M., Appel, P.W.U. y Asmund, G. (1999): Mercury in soap in Tanzania. NERI Technical Report No. 306, 23pp. National Environmental Research Institute, Dinamarca.
87. Griffith, C., Gearhart, J., Posset, H., McPherson, A., Gingras, S., Davis, G., Dhinga, R. y Kincaid, L. (2001): Toxics in vehicles: Mercury. Ecology Center, Great Lakes United and University of Tennessee Center for Clean Products and Clean technologies, Knoxville. Disponible en: <http://www.cleancarcampaign.org/pdfs/execsumm.pdf>
88. Hansen, C. L. y Hansen, E. (2003): Collection systems for batteries - existing experiences from Denmark and abroad. Environmental project no. 777, 2003, Danish Environmental Protection Agency (en danés, con resumen en inglés). Disponible en [www.mst.dk](http://www.mst.dk); publicaciones.
89. Hansen, E. (1985): Forbrug og forurening med kviksølv i Danmark [Consumption of and pollution with mercury in Denmark]. Danish Environmental protection Agency, Copenhagen (en danés)
90. Harada, M., Nakachi, S., Tasaka, K., Sakashita, S., Muta, K., Yanagida, K., Doi, R. y Kizaki, T. (2001): Wide use of skin-lightening soap may cause mercury poisoning in Kenya. *Sci Total Environ*: 26:183-187.
91. Heier, A. (1990): Use of mercury compounds in indoor latex paint to be eliminated. US EPA Environmental News, 29 de junio de 1990. En: <http://www.paint.org/protocol/app-d.cfm>
92. Hilmer, E. (1972): Geochemische Untersuchungen im Bereich der Lagerstätte Meggen, Rheinisches Schiefergebirge. *Unpubl. doctoral thesis*, University of Aachen, Alemania, 162 p.
93. Hitchon, B. y Filby, R. (1983): Geochemical Studies – Trace Elements in Alberta Crude Oils, Open File Report 1983-02, Alberta Research Council for Alberta Energy and Utilities Board and Alberta Geological Survey.
94. Hoagland, A. D. (1971): Appalachian strata-bound deposits: Their essential features, genesis and the exploration problem. *Economic Geology*, v.66, p. 805-810.
95. HTC (2000): Hibbing Taconite Company. Voluntary mercury reduction agreement.
96. Huber, K. (1997): Wisconsin Mercury SourceBook. Wisconsin Department of Natural Resources, Madison, mayo de 1997. Disponible en: <http://www.epa.gov/glnpo/bnsdocs/hgsbook/>
97. Husar, J.D. y Husar, R. (2001): Trends of mercury flows in Florida. Progress Report. Lantern Corporation. En: <http://capita.wustl.edu/Capita/CapitaReports/Mercury/MercFlorida011112.doc>
98. Hylander, L. D. y Meili, M. (2005): The rise and fall of mercury: converting a resource to refuse after 500 years of mining and pollution. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 34:1-36.
99. Hylander, L.D. y Meili, M. (2002): 500 years of mercury production: global annual inventory by region until 2000 and associated emissions. In print, *Science of the Total Environment*.

100. Ingham, A. I. (1940): The zinc and lead deposits of Shawangunk Mountain, New York. *Economic Geology*, v.35, p. 751-760.
101. Isokangas, P. (1978): Finland, in Bowie, S. H. U., Kvalheim, A., y Haslam, H. W., eds., Mineral deposits of Europe, vol. 1: Northwest Europe. London, *Inst. Min. Metallurg.*, p. 39-92.
102. Jankovic, S. (1982): Yugoslavia, in Dunning, F. W., Mykura, W., y Slater, D., eds., Mineral deposits of Europe, vol. 2: Southeast Europe. London, *Inst. Min. Metallurg.*, p. 143-202.
103. Jewell, W. B. (1947): Barite, fluorite, galena, and sphalerite veins of middle Tennessee. *Tenn. Div. Geol. Bull.* 51, 114 p.
104. Johansen, V.C. y Hawkins, G.J. (2003): Mercury speciation in cement kilns: A literature review. R&D Serial No. 2567, Portland Cement Association, Skokie, IL, EE.UU. Disponible en: [http://www.cement.org/pdf\\_files/SN2567.pdf](http://www.cement.org/pdf_files/SN2567.pdf)
105. Jolly, J. L., y Heyl, A. V. (1964): Mineral paragenesis and zoning in the central Kentucky mineral district. *Economic Geology*, v.59, p. 596-624.
106. Jolly, J. L., y Heyl, A. V. (1968): Mercury and other trace elements in sphalerite and wallrocks from central Kentucky, Tennessee and Appalachian zinc districts: U.S. Geol. Surv. Bulletin 1252-F, 29 p.
107. Jonasson, I. R. y Sangster, D. F. (1975): Variations in the mercury content of sphalerite from some Canadian sulphide deposits. *Assoc. Expl. Geochem., Spec. Publ. No. 2*, p. 313-332.
108. Jones, D. K. (1988): A geochemical study of a breccia body in the central Tennessee zinc district. *Jour. Geochem. Explorat.*, v.30, p. 197-207.
109. Kakareka, S., Khomich, V., Kukharchyk, T. y Loginov, V. (1998): Heavy metals emission factors assessment for the CIS countries. Institute for Problems of Natural Resources Use and Ecology, Minsk.
110. Kanare, H. (1999): Comparison of Trace Metal Concentrations in Cement Kiln Dust, Agricultural Limestone, Sewage Sludge, and Soil, SN2080, Portland Cement Association, Skokie, IL, EE.UU., 1999.
111. Kemi (1998): Kvicksilveravvecklingen i Sverige (mercury phase-out in Sweden). Kemikalieinspektionen 5/98. Solna, Suecia.
112. Kemi (2004): Mercury-investigation of a general ban. Report No. 4/04 by the Swedish Chemicals Inspectorate in response to a commission from the Swedish Government, Suecia. Disponible en: [http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/Rapporter/Rapport4\\_04.pdf](http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/Rapporter/Rapport4_04.pdf)
113. Kesler, S.E., Russell, N. y McCurdy, K. (2003): In press: Trace metal content of the Pueblo Viejo precious metal deposits and their relation to other high-sulfidation epithermal systems. *Mineral.Deposita* 38, según cita de Seal y Hammarström (2003).
114. Kim K.H. y Kim M.Y. (2002): Mercury emissions as landfill gas from a large-scale abandoned landfill site in Seoul. *Atmos. Environ.* 36, 4919-4928.
115. Kindbom, K y Munthe, J. (1998): Hur påverkas kvicksilver i miljön av olika energialternativ? [How is mercury in the environment influenced by different energy alternatives]. IVL Svenska Miljöinstitutet. (en sueco)
116. Kinsey *et al.* (2004): Characterization of Fugitive Mercury Emissions from the Cell Building at a US Chlor-alkali Plant. *Atmospheric Environment* 38: 623-631.
117. Kinsey *et al.* (2004): Characterization of the Fugitive Mercury Emissions at a Chlor-alkali Plant: Overall Study Design. *Atmospheric Environment* 38: 633-641.
118. Kirchartz, B. (1994): Reaction and Removal of Trace Element in Burning of Cement Clinker, (Reaktion und Abscheidung von Spurenelementen beim Brennen des Zementklinkers), Schriftenreihe der Zementindustrie; Heft 56, Duesseldorf Beton-Verlag, Alemania, 1994.
119. Kissin, S. A. y Sherlock, R. L. (1989): Grant 300-the genesis of silver vein deposits in the Thunder Bay area, northwestern Ontario. *Ontario Geol. Surv. Misc. Pap.* 143, p. 33-41.
120. Kitamura, M., Kondo, M., Tagizawa, Y., Fujii, M. y Fujiki, M. (1976): Mercury, Kondansha, Tokio, Japón, 1976.
121. Kleinevoss, A. (1971): Zur geochemischen Charakteristik des Quecksilbers unter besonderer Berücksichtigung der Hg-Verteilung in den Erzlagern des Rammelberges und ihrer Umgebung. *Unpubl. doctoral thesis*, University of Clausthal Alemania, 190 p.
122. Klemm, W.A. (1993): "Cement Kiln Dust – A Look at Its Uses and Characteristics," Proceedings 29<sup>th</sup> International Cement Seminar, Rock Products, 1993.
123. Kotnik J., Dizdarevic T. y Horvat M. (2004): Current and past mercury distribution in air over Idrija region. In Mercury as a Global Pulotant, part 1, RMZ - Materials and Geoenvironment - periodical for mining, metallurgy and geology, Liubiana, Eslovenia, 2004.
124. Kovrigo, O. A., Mosolkov, V. T. y Shilov, L. I. (1976): Peculiarities of the mercury distribution in the Rid-der-Sokol'noe deposit (Rudnyi Altai). *Soviet Geol. Geophys.*, v.17, no. 9, p. 55-60.
125. Krahn, L., Friedrich, G., Gussone, R. y Scheps, V. (1986): Zur Blei-Zink-Vererzung in Carbonatgesteinen des Aachen-Stolberger Raums. *Fortschr. Geol. Rheinland und Westfalen*, v.34, p. 133-157.
126. Kraume, E. (1955): Die Erzlager des Rammelsberges bei Goslar. *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*, v.18, 394 p.

127. Krivtsov, A.I. y Klimenko, N. G. (1997): Mineral Raw Materials. Copper. Reference Book. Moscow: Geoinformmark Publishers, 1997. – 51 p. Citado en Lassen *et al.* (2004).
128. Kulms, M. (1970): Die Verteilung der Elemente Pb, Zn, Cd, Hg, Cu, Co, Ni, Mn und Fe in den Böden der Lagerstättegebiete Maubach und Bleialf sowie in den den Flusswässern und Flusssedimenten des Triasdreiecks von Maubach-Mechernich-Kall, Eifel-Ein Beitrag zur geochemischen Erzlagerstättenprospektion. *Unpubl. doctoral thesis*, University of Aachen, Alemania, 195 p.
129. Kutliakhmetov, A.N. (2002): Mercury contamination of landscapes by mining enterprises of Bashkirian East-of-Ural Region (in Russian). Autoref. thesis of Cand. Geogr. Sc. - Yekaterinburg. Citado en Lassen *et al.* (2004).
130. Kyle, J. R. (1976): Brecciation, alteration, and mineralization in the central Tennessee zinc district. *Economic Geology*, v.71, p. 892-903.
131. Lassen, C. (Ed.), Treger, Y.A., Yanin, E.P., Revich, B.A., Shenfeld, B.E., Dutchak, S.V., Ozorova, N.A., Laperdina, T.G. y Kubasov, V.L. (2004): Assessment of mercury releases from the Russian Federation. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, Danish Environment Protection agency, Arctic Council. Borrador, 2004.
132. Laznicka, P. (1981): Data on the worldwide distribution of stratiform and stratabound ore deposits, in Wolf, K. H., ed., Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, v.10. *Amsterdam, Elsevier*, p. 79-389.
133. Levin, L. (1997): Review comments from Dr. L. Levin, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, to D. Beauregard, U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 20 de junio de 1997.
134. Liang, L., Horvat, M. y P. Danilchik (1996): A Novel Analytical Method for Determination of Picogram Levels of Total Mercury in Gasoline and Other Petroleum Based Products, *Sci. Tot. Environ.*, 187:57.
135. Liang, L., Lazoff, S., Horvat, M., Swain, E. y Gilkeson, J. (2000): Determination of mercury in crude oil by in-situ thermal decomposition using a simple lab built system. *Fresenius' J. Anal. Chem.*, 367:8.
136. Lindberg S.E., Walschläger D., Prestbo E.M., Bloom N.S., Price J. y Reinhart D. (2001): Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA. *Atmos. Environ.* 35, 4011-4015.
137. Lindberg, S.E., (2004): Personal communication. Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, EE.UU.
138. Lindberg, S.E., Southworth, G., Prestbo, E.M., Wallschläger, D., Bogle, M.A., Price, J. (2004): Gaseous methyl- and inorganic mercury in landfill gas from landfills in Florida, Minnesota, Delaware, and California. *Atmospheric Environment* 39 (2005) 249–258.
139. Lowell Center for Sustainable Production (2003). A Review of Thermostat Energy Efficiency and Pricing, Lowell Center for Sustainable Production, mayo de 2003. Disponible en: <http://www.sustainableproduction.org/>.
140. Luttrell, C. W. (1966): Base- and precious-metal and related ore deposits of Virginia. Virginia Div. Min. Resources, *Min. Resources Report* 7, 167 p.
141. Maag, J., Lassen, C. y Hansen, E. (1996): Massestrømsanalyse for kviksølv (evaluación de flujo de sustancias para mercurio). *Miljøprojekt* no. 344, 1996, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen (en danés, con resumen en inglés). Disponible en [www.mst.dk](http://www.mst.dk); publikationer.
142. Maag, J., Hanse, E. y Dall, O. (2001): Mercury - a global pollutant requiring global initiatives. *TemaNord* 2002:516, Nordic Council of Ministers, Copenhagen. Disponible en [www.norden.org](http://www.norden.org).
143. Maag, J. (2004): Arctic mercury releases inventory. Appendix on Mercury releases from Finland. COWI for the Arctic Council and the Danish Environment Protection Agency, Copenhagen. Borrador de informe 2004.
144. Magaw, R., McMillen, S., Gala, W., Trefry, J., y Trocine, R. (1999): Risk evaluation of metals in crude oils, Proceedings SPE/EPA Exploration and Production Environmental Conference, SPE Paper No. 52725.
145. Mahe, A., Blanc, L., Halna, J.M., Keita, S., Sanogo, T. y Bobin, P. (1993): An epidemiologic survey on the cosmetic use of bleaching agents by the women of Bamako (Mali). *Ann. Dermatol. Vernereol* 120: 870-873. (en francés)
146. Maher, S. W. y Fagan, J. M. (1970): Trace element content of some ore deposits in the southeastern states. *Tenn. Div. Geol. Inform. Circular* 16, 1 p.
147. Maine Board of Environmental Protection (2004). Upheld on appeal by the Maine Board of Environmental Protection, Decisión fechada 6 de mayo de 2004. Disponible en: <http://www.maine.gov/dep/index.shtml>
148. Maine Department of Environmental Protection (2003). Denial of NEMA Exemption Request, Maine DEP Orden fechada 13 de agosto de 2003. Disponible en: <http://www.maine.gov/dep/index.shtml>
149. Marcoux, E., Moëlo Y. y Leistel, J. M. (1996): Bismuth and cobalt minerals as indicators of stringer zones to massive sulfide deposits, Iberian pyrite belt. *Mineral. Deposita*, v.31, p. 1-26.
150. Markmann P. N., Jensen, P. y Abildgård, J. (2001): Old heating plants still cause mercury pollution. NyViden from the Danish EPA. Disponible en: <http://www.mst.dk/project/NyViden/2001/11230000.htm>
151. Maxson, P. (2004): Mercury flows in Europe and the world: The impact of decommissioned chlor-alkali plants. Comisión Europea, Brussels. Disponible en: [europa.eu.int/comm/environment/chemicals/mercury/pdf/report.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/chemicals/mercury/pdf/report.pdf).

152. Maxson, P.A. y Vonkeman, G.H. (1996): Mercury stock management in the Netherlands. Background document prepared for workshop "Mercury: Ban it or bridle it?" Held 21. November 1996, The Hague, Netherlands, Institute for European Environmental Policy, Bruselas, Bélgica, 48 p.
153. MMMW (1990): Mercury exposure from interior latex paint -- Michigan. Morbidity and Mortality Weekly report, marzo de 1990. Disponible en: <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00001566.htm>
154. Morris, R. (2000): New TRI Reporting Rules on Mercury, Proceedings National Petroleum Refiners Association Meeting, San Antonio, TX, (septiembre).
155. MRC (1997): Mercury Refining Company. Excerpts from emission source test reports conducted by General Testing Corporation in September 1994 and Galson Corporation in June 1995, Submitted to Midwest Research Institute, Cary, NC, 3 de septiembre de 1997.
156. MTAP (2003): When the cows come home. Minnesota Technical Assistance Program. Disponible en: <http://www.mntap.umn.edu/source/16-3/Cows.htm>
157. Munthe, J., Kindbom, K., Kruger, O., Petersen, G., Pacyna, J., y Iverfeldt, A. (2001): Examining source-receptor relationships for mercury in Scandinavia. Modelled and empirical evidence, *Water Air Soil Pollut. Focus* 1, 279, 2001.
158. Musa, M., Markus, W., Elghondi, A., Etwir, R., Hannan, A. y Arafa, E. (1995): Neutron Activation Analysis of Major and Trace Elements in Crude Petroleum, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 198(1):17.
159. Mustafin, S.K., Minigazimov, N.S. y Zainulin, H.N. (1998): Problems of mercury-related safety of Southern Ural. Environmental problems of industrial areas of Ural V.1, Magnitogorsk: MGMA, 1998, pp. 148-154. Citado en Lassen *et al.* (2004).
160. NCASI (1995): National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, Inc. (NCASI), 1995. Compilation of Air Toxic and Total Hydrocarbon Emissions Data For Sources at Chemical Wood Pulp Mills. *NCASI Technical Bulletin* No. 701. Octubre de 1995.
161. NEMA (1996): National Electrical Manufacturers Association (NEMA), 1996. Fluorescent Lamps and the Environment. Rosslyn, VA, julio de 1996. Disponible en <http://www.nema.org/lamprecycle/nemafluorfinal.pdf>.
162. NEMA (2000): Environmental Impact Analysis: Spent Mercury-Containing Lamps, report by the (US) National Electrical Manufacturers Association, de fecha enero de 2000 y disponible en [www.nema.org/papers/enviimpact.doc](http://www.nema.org/papers/enviimpact.doc).
163. NESCAUM (1998): The Northeast States and Eastern Canadian Provinces Mercury Study, February 1998. Disponible en: <http://www.cciw.ca/ca/eman-temp/reports/publications/mercury/>
164. NEWMOA (2001): Interstate Mercury Education & Reduction Clearinghouse (IMERC) Mercury-Added Products Database. Disponible en: <http://www.newmoa.org/Newmoa/htdocs/prevention/mercury/imerc/notification/>
165. NIH (2004): Mercury free NIH Campaign. Reagents with mercury. National Institutes of Health. Disponible en: <http://www.nih.gov/od/ors/ds/nomercury/index.htm>
166. Nriagu, J.O. y Pacyna, J.M. (1988): quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace metals. *Nature* 333, pp- 134-139. Según cita de Feng *et al.* (2004).
167. Nishiyama, T. (1974): Minor elements in some sulfide minerals from the Kuroko deposits of the Shakanai mine. *Min. Geol. Spec. Iss.*, no. 6, p. 371-376.
168. NJ MTF (2002): New Jersey Mercury Task Force Report. Volume III. Sources of Mercury in New Jersey. Enero de 2002. Disponible en: <http://www.state.nj.us/dep/dsr/Vol3-chapter1.pdf>
169. NPI (1999a): Emission Estimation Technique Manual for Alumina Refining, Environment Australia, 1999. Acceso registrado en [www.npi.gov.au](http://www.npi.gov.au), octubre de 2004.
170. NPI (1999b): National Pollution Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual for Aluminium Smelting, Environment Australia, 1999b. Acceso registrado en [www.npi.gov.au](http://www.npi.gov.au), octubre de 2004.
171. NPI (2004): National Pollution Inventory (NPI), Data extracted from the NPI database. Acceso registrado en octubre de 2004 en [www.npi.gov.au](http://www.npi.gov.au).
172. Oftedal, I. (1941): Untersuchungen über die Nebenbestandteile von Erzmineralien Norwegischer zinkblendeführender Vorkommen. Skrifter utgit av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo, I. *Mat. Naturv. Klasse*, 1940 no. 8, 103 p.
173. OilTracers (1999-2004): Using gas geochemistry to assess mercury risk. Disponible en: <http://www.gaschem.com/mercur.html>
174. Olsen, S., Westerlund, S. y Visser, R. (1997): Analysis of Metals in Condensates and Naphthas by ICP-MS, *Analyst*, 122:1229.
175. OSPAR (2002): Mercury emissions from crematoria and their control in the OSPAR Convention Area. OSPAR Commission, París. Disponible en: [http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00179\\_Mercury%20emissions%20from%20crematoria.pdf](http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00179_Mercury%20emissions%20from%20crematoria.pdf)
176. Ozerova, N. A. (1959): The use of primary dispersion halos of mercury in the search for lead-zinc deposits. *Geochemistry*, p. 793-802.

177. Ozerova, N. A. (1983): Mercury content of hydrothermal ore deposits. *Doklady Earth Sci. Sect.*, v.261, p. 203-205.
178. Ozerova, N. A. (1986): Mercury and endogenetic ore formation. Moscow, Akad. Nauk SSSR, Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni, Inst. Geol. Rudnykh Mestorozhdeniy, Petrog., Mineral., *Geochim.*, 231 p. (en ruso).
179. Ozerova, N. A., Rusinov, V. L. y Ozerov, Y. K. (1975): The mercury in sulfide deposits emplaced in volcanic suites. *Mineral. Deposita*, v. 10, p. 228-233.
180. Pacyna, J.M. y Pacyna, E.G. (2000): Assessment of emissions/discharges of mercury reaching the Arctic environment. The Norwegian Institute for Air Research, NILU Report OR 7/2000, Kjeller, Noruega.
181. Passant, N.R. (2004): Review of emission factors for mercury emitted from cremation. AEA Technology for DEFRA/WEG/SE, UK. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/corporate/consult/crematoria-two/consultation.pdf>
182. PRF (1996): Mercury in buildings. Purdue Research Foundation, West Lafayette. Disponible en: <http://pasture.ecn.purdue.edu/~mercury/src-01-02/toc.htm>
183. Pirrone, N., Munthe, J., Barregård, L., Ehrlich, H.C., Petersen, G., Fernandez, R., Hansen, J.C., Grandjean, P., Horvat, M., Steinnes, E., Ahrens, R., Pacyna, J.M., Borowiak, A., Boffetta, P. y Wichmann-Fiebig, M. (2001): EU Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) - Position Paper. Office for Official Publications of the European Communities, 2001. Presentado por Italia (disponible en <http://europa.eu.int/comm/environment/air/background.htm#mercury> ).
184. Pitche, P., Afanou, A., Amanga, Y. y Tchangai-Walla, K. (1997): Prevalence of skin disorders associated with the use of bleaching cosmetics by Lome women. *Sante* 7:161-164. (In French)
185. Plachy, J. (1996): Mercury. (In) Minerals Yearbook, Volume 1 – Metals and Minerals, US Geological Survey, United States Department of the Interior, Washington, D.C.
186. Product Stewardship Institute (PSI) (2004). Thermostat Stewardship Initiative: Background Research Summary, Product Stewardship Institute (PSI), October 18, 2004, pp. 5-6. Disponible en: [http://www.productstewardship.us/prod\\_mercury\\_project.html](http://www.productstewardship.us/prod_mercury_project.html)
187. Pye, E. G. (1964): Mineral deposits of the Big Duck Lake area, district of Thunder Bay. Ontario Dept. Mines *Geol. Report*, no. 27, 47 p.
188. Reese (1999): USA Geological Survey Minerals Yearbook – 1999: Mercury. USGS at [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)
189. Rein, K. y Hylander, L.D. (2000): Experiences from phasing out the use of mercury in Sweden, *Regional Environ. Change* 1, 126, 2000.
190. Reindl, J. (2003): Summary of References on Mercury Emissions from Crematoria - DRAFT. Dane County Department of Public Works. Madison Wisconsin. 12 de agosto de 2003.
191. Reisdorf, R.P. y D'Orlando, D.C. (1984): Survey of Health Hazard Control Systems for Mercury Use and Processing. NTIS PB85-107241. National Technical Information Service, Springfield, VA.
192. Renner, H. (2000): Gold, gold alloys, and gold compounds - production. In Ullmans encyclopedia of industrial chemistry, Wiley-VCH Verlag, presentadi en diciembre de 2004 en [http://www.mrw.interscience.wiley.com/ueic/articles/a12\\_499/frame.html](http://www.mrw.interscience.wiley.com/ueic/articles/a12_499/frame.html)
193. Rentz, O., Sasse, H., Karl, U., Schleff, H.J. y Dorn, R. (1996): Emission control at stationary sources in the Federal Republic of Germany - Volume II, Heavy metal emission control. French-German Institute for Environmental Research (DFIU), University of Karlsruhe, 1996 (presentado por Alemania para la Evaluación Mundial del Mercurio).
194. Rui, I. J. (1973): Geology and structures of the Rostvangen sulfide deposit in the Kvikne district, central Norwegian Caledonides. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, v.53, p. 433-442.
195. Ryall, W. R. (1979a): Mercury in the Broken Hill (N.S.W., Australia) lead-zinc-silver lodes. *Jour. Geochem. Explorat.*, v.11, p. 175-194.
196. Ryall, W. R. (1979b): Mercury distribution in the Woodlawn massive sulfide deposit, New South Wales. *Economic Geology*, v.74, p. 1471-1484.
197. Saenger, M., Werther, J. y Lungwitz, H. (1999a): Mercury emissions from German fluidized bed sludge incinerators - A status report. Proceedings of the 15th International Conference on Fluidized Bed Combustion, May 16 - 19, 1999, Savannah, Georgia. Disponible en: <http://www.portalenergy.com/balpyo/15icfbc/99-0042.pdf>
198. Saenger, M., Werther, J. y Hanssen, H. (1999b): Concentrations and mass balance of mercury in a fluidized bed sewage sludge incineration plants. Proceedings of the 15th International Conference on Fluidized Bed Combustion, May 16 - 19, 1999, Savannah, Georgia.
199. Sangster, D. F. (1986): Classification, distribution and grade-tonnage summaries of Canadian lead-zinc deposits. *Can. Geol. Surv. Economic Geology Report* 37, 68 p.
200. Sangster, D. F. (1990): Mississippi Valley-type and sedex lead-zinc deposits: A comparative examination. *Trans. Inst. Min. Metallurg.*, v.99, p. B21-B42.
201. Saupé, F.R. (1972): The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Science, Editor Fairbridge R. W., Van Nostrand Reinhold, Nueva York, NY, EE.UU., 1972.



202. SCB (2002): Bidrag till Sveriges officiella statistik (Contribution to the Official Statistics of Sweden): Fabriker och manufaktur. Annual volumes for 1858–1895, Fabriker och hantverk Annual volumes for 1896–1910, Utrikes handel och sjöfart. Annual volumes for 1858–1890, Utrikes handeln. Annual volumes for 1891–1894, Handel. Annual volumes for 1895–1910, Kommerskollegium. Norstedt och Söner y Isaac Marcus Boktr. AB, Stockholm, Sweden, 1859–1912. Sveriges officiella statistik (Official Statistics of Sweden): Industri. Annual volumes for 1911–1961, Handel. Annual volumes for 1911–1961, Estocolmo, Suecia, 1912–1962. Statistics from 1962 onwards at Statistics Sweden, [www.SCB.se](http://www.SCB.se) (acceso registrado el 20 de febrero de 2002).
203. Schachermayer, E., Bauer, G. y Ritter, E. (1995): Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage. [Measurement of the material and substance balance of a municipal solid waste incineration plant]. Monographie; Band 56. Wien. (en alemán)
204. Schäfer, S. y Hoenig, V. (2001): "Operational Factors Affecting the Mercury Emissions from Rotary Kilns in the Cement Industry," Zement-Kalk-Gips International, Bauverlag GmbH, Walluf, Alemania, Volume 54, No. 11, 2001.
205. Schneider, M. y Oerter, M. (2000): "Limiting and Determining Mercury Emissions in the Cement Industry," Zement-Kalk-Gips International, Alemania, Vol., 53, No. 3, 2000.
206. Schroll, E. (1953): Über Unterschiede im Spurengehalt bei Wurtziten, Schalenblenden und Zinkblenden. Sitzungsberichte der mathem.-naturw. Kl., *Abt. I*, v.162, no. 5, p. 21-332 p.
207. Schroll, E. (1983): Geochemical characterization of the Bleiberg type and other carbonate hosted lead-zinc mineralizations, in 4th ISMIDA, Berchtesgaden, Alemania, 4-10 de octubre de 1981, *Proc.*, p. 189-197.
208. Schwartz, M. O. (1972): Geochemische und Lagerstättenkundliche Untersuchungen in Minas de Osor und Umgebung (Provinz Gerona, Spanien). *Unpubl. doctoral thesis*, University of Aachen, Alemania, 109 p.
209. Schwartz, M.O. (1997): Mercury in zinc deposits: Economic geology of a polluting element. *Internat. Geol. Rev.* **39**, 905-923.
210. Scoullou, M., Vonkeman, G., Thornton, I., Makuch, Z., Arsenikos, S., Constantianos, V., Docx, P., Karavoltos, S., MacDonald, K., Mantzara, B., Maxson, P., Rautiu, R., Roniotes, S., Sakellari, A. y Zeri, C. (2000): EUPHEMET - Towards an integrated EU policy for heavy metals. For the European Commission DG12 - Research Directorate-General, Bruselas.
211. Seal, R.R., II y Hammarstrom, J.M. (2003): Geoenvironmental models of mineral deposits: examples from massive sulphide and gold deposits: Environmental Aspects of Mine Wastes, J.L. Jambor, D.W. Blowes y A.I.M. Ritchie (eds.), Mineralogical Association of Canada Short Series, v. 31, p. 11-50.
212. Seraphim, R. H. (1980): Western Mines-Myra, Lynx and Price deposits. *CIM Bull.*, Diciembre de 1980, p.71-86.
213. SH (2004): Mercury sources and alternatives in health care. Sustainable Hospitals. Disponible en: [http://www.sustainablehospitals.org/HTML/Src/IP\\_Merc\\_Tools\\_List.html](http://www.sustainablehospitals.org/HTML/Src/IP_Merc_Tools_List.html)
214. Shah, K. R., Filby, R. H. y Haller, W. A. (1970): Determination of Trace Elements in Petroleum by Neutron Activation Analysis, *Journal of Radioanalytical Chemistry*, 6:413.
215. Shin Chan-Ki *et al.* (2000): A study on the proper treatment of incineration residues from MSW Incinerator (I) - on the basis of bottom ash. Waste Rreatment Engineering Division of the National Institute of Environmental Research, Korea. Citado en la entrega de textos de la República de Corea para la Evaluación Mundial del Mercurio del PNUMA. Disponible en: <http://www.chem.unep.ch/mercury/2001-gov-sub/sub76govatt2.pdf>
216. Shunlin Tang, Xinbin Feng, Zhonggen Li, Shaofeng Wang y Lian Liang (2004): A preliminary study on mercury speciation in municipal waste landfill gas from Guizhou, China. In Mercury as a Global Pulotant, part 1, RMZ - Materials and Geoenvironment - periodical for mining, metallurgy and geology, Liubliana, Eslovenia, 2004.
217. Skare, I. y Engqvist, L. (1994): Human exposure to mercury and silver released from dental amalgam restorations. *Arch. Environ. Health* 1994; 49:384-394.
218. Skårup, S., Christensen, C.L., Maag, J. y Jensen, S.H. (2003): Substance Flow Analysis for Mercury. Environmental project no. 808, The Danish EPA, 2003 (in Danish with summary in English). Disponible en [www.mst.dk](http://www.mst.dk). Disponible también en inglés desde 2004 en la misma página.
219. Smirnov, V. I., ed. (1977): Ore deposits of the USSR, v.3. Londres, *Pitman*, 424 p.
220. Smith, R. C., II, (1977): Zinc and lead occurrences in Pennsylvania. *Penn. Geol. Surv., Min. Resources Report* 72, 318 p.
221. Soler, P. (1982): Comentario sobre la distribución de elementos menores y trazas (Ag, Bi, Hg, Se, Cd, In, Ge, Ga, Sn) en los yacimientos de Pb-Zn del Perú central, in V Cong. *Latinoamer. Geol.*, Argentina, 1982, *Proc.*, v.IV, p. 159-175.
222. Southworth *et al.* (2004): Fugitive Mercury Emissions from a Chlor-alkali Factory: Sources and Fluxes to the Atmosphere. *Atmospheric Environment* 38: 597-611
223. Sörme, L. y Lagerkvist, R. (2002): Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. *The Science of the Total Environment* 298 (2002) 131-145
224. Sörme, L., Lindqvist, A. y Söderberg, H. (2003): Capacity to Influence Sources of Heavy Metals to Wastewater Treatment Sludge. *Environmental Management* Vol. 31, No. 3, pp. 421-428

225. Sprung, S. (1982): "Technologische Probleme beim Brennen des Zementklinkers, Ursache und Lösung." Schrittenreihe der Zementindustrie, Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf, Germany, Heft 43, 1982 Traducción de Brodek, T.V., "Technological Problems in Pyro-Processing Cement".
226. Srivastava, R.C. (2003): "Guidance and Awareness Raising Materials under new UNEP Mercury Programs (Indian Scenario)". Center for Environmental Pollution Monitoring and Mitigation. Lucknow, India. Entregado al PNUMA en agosto de 2003.
227. Sznopce, J.L. y Goonan, T.G. (2000): The materials flow of mercury in the economies of the United States and the world. USA Geological Survey Circular 1197, vers. 1.0, USA Geological Survey, nov. 2000, descargado de <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/circulars/c1197/> en enero de 2001. Disponible en <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/>.
228. Tao, H., Murakami, T., Tominaga, M. y Miyazaki, A. (1998): Mercury speciation in natural gas condensate by gas chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry, *J. Anal. At. Spectrom.*, 13:1085.
229. Tempelman-Kluit, D. J. (1972): Geology and origin of the Faro, Vangorda, and Swim concordant zinc-lead deposits, central Yukon Territory. *Can. Geol. Surv. Bull.* 208, 73 p.
230. Terzic, S. B. (1972): Thallium and mercury in minerals from the Mezica ore deposit. *Geol. Razprave in Porocila*, v.15, p. 361-368.
231. Thorpe, R. I., (1972): Mineral exploration and mining activities, mainland Northwest Territories, 1966 to 1968. *Can. Geol. Surv. Pap.* 70-70, 204 p.
232. Thurlow, J. G., Swanson, E. A. y Strong, D. F. (1975): Geology and litho geochemistry of the Buchans polymetallic sulfide deposits, Newfoundland. *Economic Geology*, v.70, p. 130-144.
233. Tikkanen, G.D. (1986): World resources and supply of lead and zinc. In: Bush VR (Ed.): Economics of internationally traded minerals. Littleton, CO, Soc. Min. Eng., pp. 242-250, según cita de Schwartz (1997).
234. Toxics Link (2003): Mercury in India –Toxic Pathway-. Septiembre de 2003, p. 24. Disponible en: [http://www.toxicslink.org/docs/06035\\_publications-1-33-2.pdf](http://www.toxicslink.org/docs/06035_publications-1-33-2.pdf)
235. TRI (2004): Toxics Release Inventory (TRI) Program. US Environmental Protection Agency. Disponible en: <http://www.epa.gov/triexplorer/>
236. Ullmann (2000): Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry: Zinc, starting materials for zinc production. Accessed at [www.mrw.interscience.wiley.com/ueic/articles/a28\\_509/sect3.html](http://www.mrw.interscience.wiley.com/ueic/articles/a28_509/sect3.html) en octubre de 2003.
237. Ullmann (2001): Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry: Copper, Copper minerals. Accessed at [www.mrw.interscience.wiley.com/ueic/articles/a28\\_509/sect3.html](http://www.mrw.interscience.wiley.com/ueic/articles/a28_509/sect3.html) en octubre de 2003.
238. UNEP (2002): Global Mercury Assessment, PNUMA Productos Químicos, Ginebra, Suiza, diciembre de 2002.
239. UNEP (2003): Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases, 1<sup>st</sup> edition, May 2003, PNUMA Productos Químicos, Ginebra, Suiza.
240. UNIDO (2003): Marcello M. Veiga y Randy Baker. Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-scale Miners. Abril de 2003.
241. Unilever (2003): Thermometer factory: Kodaikanal, India (update 7 April 2003). Unilever PLC Londres. Disponible en: [http://www.unilever.com/environmentalsociety/newsandspeeches/Thermometer\\_factory\\_Kodaikanal\\_India.asp?ComponentID=5664&SourcePageID=165](http://www.unilever.com/environmentalsociety/newsandspeeches/Thermometer_factory_Kodaikanal_India.asp?ComponentID=5664&SourcePageID=165) .
242. US EPA (1984): Review of National Emission Standards for Mercury. EPA-450/3-84-004. Emission Standards and Engineering Division, Research Triangle Park, NC.
243. US EPA (1992): Characterization of Products Containing Mercury in Municipal Solid Waste in the United States, 1970 to 2000. Office of Solid Waste, Washington, DC. Marzo de 1992.
244. US EPA (1994): Report by W. Battye, U. McGeough, y C. Overcash (EC/R)- 1994. Evaluation of Mercury Emissions from Fluorescent Lamp Crushing. EPA-453/R-94-018. US EPA, RTP, NC.
245. US EPA (1996): Emission Factor Documentation for AP-42, Section 1.6, Wood Waste Combustion in Boilers, Research Triangle Park, NC.
246. US EPA (1997a): Locating and estimating air emissions from sources of mercury and mercury compounds. Report EPA-454/R-97-012, (NTIS PB98- 117054), Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/le/index.html> .
247. US EPA (1997b): Mercury Study Report to Congress. US EPA, Dic. 1997. Disponible en: <http://www.epa.gov/mercury/report.htm>
248. US EPA (1997c): Mercury emissions from disposal of fluorescent lamps. Office of Solid Waste, US Environmental Protection Agency. Disponible en: <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/id/merc-emi/merc-pgs/merc-rpt.pdf> .
249. US EPA (1998): National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Publicly Owned Treatment Works MACT standard. US Federal Register Volume 63, No. 230. 1 de diciembre de 1998, pp. 66084-66101.

250. US EPA (2000): Unified Air Toxics Website: Electric Utility Steam Generating Units, Section 112 Rule Making, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. [www.epa.gov/ttn/uatw/combust/uttiltox/utoxpg.html](http://www.epa.gov/ttn/uatw/combust/uttiltox/utoxpg.html).
251. US EPA (2001): Great Lakes Binational Toxics Strategy Progress Report 2001. Disponible en: <http://www.epa.gov/glnpo/bns/reports/2001Progress/index.html>.
252. US EPA (2002a): Control of Mercury Emissions from Coal-fired Electric Utility Boilers, Interim Report Including errata Data 3-21-02. EPA-600/R-01-109, National Risk Management Research Laboratory, Research Triangle Park, NC, abril de 2002. Disponible en <http://www.epa.gov/appcdwww/aptb/EPA-600-R-01-109corrected.pdf>.
253. US EPA (2002b): National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Mercury Emissions From Mercury Cell Chlor-alkali Plants; Proposed Rules. Federal Register. 3 de julio de 2002.
254. US EPA (2003a): Mercury: Toxics Release Inventory Fact Sheet. United States Environmental Protection Agency, Region 9. Junio 2003.
255. US EPA (2003b): Clean Energy Information. Disponible en: <http://www.epa.gov/cleanenergy/oil.htm>.
256. US EPA (2003c): What Devices Contain Mercury? Welcome to the US EPA Region 5/ Purdue University website. Disponible en: <http://pasture.ecn.purdue.edu/~mercury/src/devicepage.htm#man>
257. US EPA (2003d): TRI. Reporting for year 2001 for the Chloralkali Industry. Disponible en <http://dl.rtk.net/tri/fac> "2003.
258. US EPA (2004): Mercury in medical waste. Disponible en: <http://www.epa.gov/reg5oair/glakes/fact1.htm>
259. Vasquez R., H. (1974): Tablas prácticas para la determinación de minerales y directorio minero-metalúrgico Peruano. Lima, Perú, *Offset S.A.*, 118 p.
260. VDZ (2000): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie. [Environmental data for the German cement industry]. Verein deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf. (en alemán)
261. VDZ (2001): Activity Report 1999-2001. Verein Deutscher Zementwerke e. V., Forschungsinstitut der Zementindustrie, Dusseldorf, Alemania. Disponible en: [http://www.vdz-online.de/daten/tb\\_99\\_01/en/script/start.htm](http://www.vdz-online.de/daten/tb_99_01/en/script/start.htm).
262. Velzen, D. van, Langenkamp, H. y Herb, G. (2002): Review: Mercury in waste incineration. *Waste Management and Research* 20: 556-568.
263. Vokes, F. M. (1976): Caledonian massive sulfide deposits in Scandinavia. A comparative review, in Wolf, K. H., ed., Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, v.6. *Amsterdam, Elsevier*, p. 79-127.
264. Wankhade, K.K. (2003): Mercury in India. Toxic pathways. Toxics Link, Nueva Delhi. Disponible en: <http://www.toxicslink.org/pub-view.php?pubnum=35>
265. Watling, R. J. (1974): Identification and analysis of lattice-held mercury in sphalerite from Keel prospect, County Longford, Irlanda. *Trans. Inst. Min. Metallurg.*, v.83, p. B88-B94.
266. WHO (1995): Environmental Health Criteria 167. International Programme on Chemical Safety. Acetaldehyde. World Health organization. Ginebra, Suiza.
267. Widenfalk, L. (1979): Mercury as an indicator of stratigraphy and metamorphism in the Skellefte ore district. *Economic Geology*, v.74, p. 1307-1314.
268. Wilhelm, S.M. (2001): Mercury in petroleum and natural gas: Estimation of emissions from production, processing, and combustion. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington. Disponible en: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/600r01066/600r01066.pdf>
269. Wilhelm, S.M. y Bigham, G.N. (2002): Concentration of mercury in crude oil refined in the United States. 5<sup>th</sup> International Conference on Mercury as a Global Pollutant, Minamata, Japón. Disponible en: <http://www.hgtech.com/Publications/minamata.htm>.
270. Wright, G. M. (1967): Geology of the southeastern Barren Grounds, parts of the districts of Mackenzie and Keewatin. *Can. Geol. Surv. Memoir* 350, 91 p.
271. Yanin (2004): Description of non-ferrous metal industry in Lassen *et al.* (2004).
272. Yep, C., Algazi, A. y Low, J. (2002): Mercury report. Department of Toxic Substances Control, Hazardous Waste Management Program and State Regulatory Programs Division, Sacramento, California. Disponible en: [http://www.dtsc.ca.gov/hazardouswaste/mercury/HWM\\_REP\\_Mercury\\_Final.pdf](http://www.dtsc.ca.gov/hazardouswaste/mercury/HWM_REP_Mercury_Final.pdf).
273. Zeeh, S. y Bechstädt, T. (1994): Carbonate-hosted Pb-Zn mineralization at Bleiberg-Kreuth (Austria): Compilation of data and new aspects. *Soc. Geol. Appl. Min. Dep.*, Spec. Publ., no. 10, p. 271-296.



## 7 Glosario, siglas y abreviaturas

< - menor que;

> - mayor que;

**C** - grados Celsius (centígrados);

/ - dividido entre;

\* - multiplicado por;

% - por ciento;

**µg** – microgramo ( $10^{-6}$  gramo);

**ADR** – sistema de absorbedores de desecador de rocío; equipos diseñados para reducir las emisiones de ciertos contaminantes en los gases de salida después de la combustión;

**ATSDR** – Agencia Estadounidense para el Control de las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades;

**CDM** – combustor de desechos municipales;

**CE** – Comunidad Europea (A partir del 1 de mayo de 2004, 25 países miembros (Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia));

**CE (15)** – Comunidad Europea antes de la ampliación del 1 de mayo de 2004, cuando constaba de 15 países miembros (Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Reino Unido y Suecia).

**Convenio LRTAP** – Convenio sobre Contaminación Transfronteriza de Largo Alcance;

**DGS** – desulfuración de gases de salida; proceso de/equipos para la minimización básica de emisiones de sulfuro en gases de salida después de la combustión;

**dispositivos CCA** – dispositivos de control de la contaminación del aire (CCA);

**DP** – depurador de partículas; equipos diseñados para reducir las emisiones de partículas en los gases de salida después de la combustión

**DR** – desecador de rocío;

**DSM** – desechos sólidos municipales;

**EE.UU.** – Estados Unidos;

**EMEP** – Programa de Cooperación para la Vigilancia Continua y la Evaluación del Transporte a Gran Distancia de Contaminantes Atmosféricos en Europa (bajo el Convenio LRTAP);

**escoria** – material de desecho que se produce al excavar carbón o bien la sustancia que se produce al mezclar químicos con metales que han sido calentados hasta el punto de fundición a fin de retirar sustancias no deseadas;

**FAO** – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación;

**FT** – filtro de tela; tipo de filtro para capturar materias particuladas (en este instrumental, en los gases de salida después de la combustión);

**g** – gramos;

**g/l o g/L** – gramos por litro;

**Hg<sup>0</sup>** o Hg(0) – mercurio elemental;

**Hg<sup>2+</sup>** o Hg(II) – mercurio divalente – forma dominante de mercurio en compuestos orgánicos e inorgánicos con este metal. En la atmósfera, las especies con mercurio divalente en el aire se lavan con la lluvia y se depositan más fácilmente que el mercurio elemental;

**Hg<sub>p</sub>** – mercurio particulado – mercurio adherido o absorbido en materia particulada. En la atmósfera, el mercurio particulado se deposita mucho más rápido que el mercurio elemental;

**IARC** – Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer;  
**IDM** – incinerador de desechos médicos;  
**IPCS** – Programa Internacional de Seguridad Química;  
**ISD** – inyección de sorbentes en ductos;  
**kg** – kilogramo;  
**l o L** – litro;  
**m** – metro;  
**MetilHg o MeHg** – metilmercurio;  
**mg** – miligramo ( $10^{-3}$  gramo);  
**MP** – material particulado; materia particulada;  
**MSC-E** – Centro de Sintetización Meteorológica – Este (asociado al Convenio LRTAP);  
**MW** – megavatio;  
**NEMA** – Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos (EE.UU.);  
**ng** – nanogramo ( $10^{-9}$  gramo);  
**OCDE** – Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico;  
**OIT** – Organización Internacional del Trabajo;  
**OMS** – Organización Mundial de la Salud;

**ONU** – Naciones Unidas;

**países CEI** – países de la Comunidad de Estados Independientes (Armenia, Azerbaiyán, Bielorrusia, Federación Rusa, Kazakastán, Kirguistán, República de Moldavia, Tayikistán, Turkmenistán, Ucrania y Uzbekistán).

**PES** – precipitador electrostático, equipo para reducir las emisiones de ciertos contaminantes en los gases de salida después de la combustión;

**PNUMA** – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente;

**ppb** – partes por mil millones;

**ppm** – partes por millón;

**RCS** – reducción catalítica selectiva; equipos diseñados para reducir las emisiones de ciertos contaminantes en los gases de salida después de la combustión;

**RCNS** – reducción catalítica no selectiva; equipos diseñados para reducir las emisiones de ciertos contaminantes en los gases de salida después de la combustión;

**t o ton** – toneladas métricas = 1000 kg;

**tonelada métrica** – 1000 kg;

**UE** – Unión Europea. A partir del 1 de mayo de 2004 cuenta con 25 países miembros (Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia) y establece un área de más de 4 millones de kilómetros cuadrados y una población aproximada de 460 millones de habitantes;

**US EPA** – Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos;

**vida útil** – en las descripciones de los ciclos de vida de productos: el lapso entre el momento en que empieza a usarse el producto (por lo general, el momento de la compra) y el momento a partir del que deja de usarse o se desecha;

## **8 Anexos técnicos**

### **8.1 Concentraciones de mercurio en esfalerita en concentrados para la extracción de zinc**

1201. En referencia a la sección 5.2.3, dedicada a la extracción y el procesamiento inicial del zinc, la tabla 8.1 presenta datos sobre las concentraciones de mercurio en esfalerita ( $Hg_{sp}$ ) en concentrados para la extracción de zinc (Schwartz, 1997).

Tabla 8-1 Concentraciones de mercurio en esfalerita ( $Hg_{sp}$ ) en concentrados para la extracción de zinc (Schwartz, 1997)

País	Número de depósitos	Nombre del depósito (distrito)	Concentración promedio de $Hg_{sp}$ , ppm *1	Material analizado *2	Número de muestras	Referencias para análisis y clasificación de depósitos	Referencias adicionales para la clasificación de depósitos
Depósitos tipo VOLCEX del Arqueano (hasta facies de esquistos verdes)							
Canadá	19	Cdn.-Jamieson, Coniagas, Delbridge, Hacket R., High L., Indian Mountain L., Kam-Kotia, Kidd Creek, Lac Dufault, Manitou-Barvue, Mattabi, Mattagami L., N. Slave, Orchan, Poirier, South Bay, Spi L., Sturgeon L., Zenmac	37	M	66	Jonasson y Sangster (1975)	Pye (1964), Wright (1967), Franklin <i>et al.</i> (1981), Laznika (1981), Sangster (1986)
Canadá	1		123	C	1	(confidencial)	
Depósitos tipo VOLCEX del Arqueano (facies anfíbolita)							
Canadá	3	Geco, Normetal, Willecho	10	M	13	Jonasson y Sangster (1975)	Franklin <i>et al.</i> (1981)
Depósitos tipo VOLCEX del Proterozoico (hasta facies de esquistos verdes)							
Canadá	4	Errington, Flin Flon, Ruttan L., Schist L.	95	M	10	Jonasson y Sangster (1975)	CIM (1957), Franklin <i>et al.</i> (1981), Laznicka (1981)
Suecia	11	Boliden, Kristineberg, Langdal, Langsele, Näsliden, Rävlieden ABC, Rävlieden Cu, Ravlidmyran, Renström, Sturemalmen, Udden	998	C	11	Widenfalk (1979)	
Depósitos tipo VOLCEX del Proterozoico (facies anfíbolita)							
Canadá	9	Chisel L., Fox L., New Calumet, N. Contact L., Osborne L., Sherridon, Sulphide L., Tetrault, Western Nuclear	97	M	22	Jonasson y Sangster (1975)	Franklin <i>et al.</i> (1981), Laznicka (1981)
Finlandia	1	Vihanti	550	C	1	Kleinevoss (1971)	Isokangas (1978)
Suecia	1	Rudtjebäcken	582	C	1	Widenfalk (1979)	
Depósitos tipo VOLCEX del Fanerozoico (hasta facies de esquistos verdes)							
Australia	1		50	C	1	(confidencial)	
Australia	1		4	M	2	(confidencial)	
Australia	1	Woodlawn	6	M	8	Ryall (1979b)	Laznicka (1981)
Canadá	1		11	C	1	(confidencial)	
Canadá	11	Big Bull, Brunswick No. 6, 12, Buchans, Heath Steele, Key Anacon, Seneca, Sturgeon R. Wedge, Weedon, Western	35	M	14	Jonasson y Sangster (1975)	CIM (1957), Douglas (1970), Thurlow <i>et al.</i> (1975), Armbrust y Gannicott (1980), Seraphim (1980), Franklin <i>et al.</i> (1981)
Japón	1	Shakanai	14	M	12	Nishiyama (1974)	
Japón	3	Furutobe, Hanaoka, Uchinotai	29	M	6	Ozerova (1986)	Ozerova <i>et al.</i> (1975)
Kazakastán	1	Ridder-Sokol'noye	1	M	4	Kovrigo <i>et al.</i> (1976)	
Noruega	4	Bjorkasen, Lokken, Rostvangen Vigsnes	55	M	5	Oftedal (1941)	Rui (1973), Vokes (1976), Bugge (1978)
Rusia	6	Mauk, (South Urals), Valentina	64	M	15	Ozerova (1986)	Ozerova <i>et al.</i> (1975), Smirnov (1977)

País	Número de depósitos	Nombre del depósito (distrito)	Concentración promedio de Hg <sub>sp</sub> , ppm *1	Material analizado *2	Número de muestras	Referencias para análisis y clasificación de depósitos	Referencias adicionales para la clasificación de depósitos
España	1		548	C	1	(confidencial)	
España	1	Santa Ana	43	C	1	Marcoux <i>et al.</i> (1996)	
España	1	San Telmo	116	C	1	Marcoux <i>et al.</i> (1996)	
Estados Unidos	4	(East Maine)	17	M	6	Jolly y Heyl (1968)	Bouley y Hodder (1984)
	3	East Pacific Rise, Galapagos Rift, Juan de Fuca Ridge (seafloor)	2	C	5	Bischoff <i>et al.</i> (1983)	

País	Número de depósitos	Nombre del depósito (distrito)	Concentración promedio de Hg <sub>sp</sub> , ppm *1	Material analizado *2	Número de muestras	Referencias para análisis y clasificación de depósitos	Referencias adicionales para la clasificación de depósitos
Depósitos tipo VOLCEX del Fanerozoico (facies anfíbolita)							
Noruega	1	Hestekletten	30	M	1	Oftedal (1941)	Vokes (1976), Bugge (1978)
Noruega	1	Storvarts	100	M	1	Oftedal (1941)	Vokes (1976), Bugge (1978)
Noruega	1	Jakobsbakken	42	M	1	Kleinevoss (1971)	Vokes (1976), Bugge (1978)
Depósitos tipo SEDEX del Proterozoico (facies anfíbolita/granulita)							
Australia	1	Broken Hill	27	M	24	Ryall (1979a)	
Estados Unidos	1	Balmat	1198	M	2	Jonasson y Sangster (1975)	deLoraine y Dill (1982), Sangster (1990)
Depósitos tipo SEDEX del Fanerozoico (hasta facies de esquistos verdes)							
Australia	1		48	C	1	(confidencial)	
Australia	1		89	C	1	(confidencial)	
Canadá	1		109	C	1	(confidencial)	
Canadá	1	Faro	114	M	2	Jonasson y Sangster (1975)	Tempelman-Kluit (1972), Sangster (1990)
Alemania	1	Rammelsberg	164	C	8	Kraume (1955)	
Alemania	1	Meggen	6	C	1	Hilmer (1972)	
Depósitos tipo SEDEX del Fanerozoico (facies anfíbolita)							
Noruega	1	Mofjell	60	C	1	Borsch (1970; quoted by Kleinevoss (1971))	Vokes (1976), Sangster (1990)
Vetas preterciarias en rocas ligeramente carbonatadas							
Canadá	20	Arctic Silver, Berens R., Box, (Cobalt) Dorchester, Frontenac Lead, Homer L., (Keno Hill), Keymet, Kingdon Lead, Ramah, Severn R., Smithers, Thubin L., (Thunder Bay) Turnback L.	32	M	46	Jonasson y Sangster (1975)	Alcock (1930), CIM (1957), Douglas (1970), Thorpe (1972), Sangster (1986), Kissin y Sherlock (1989), Beaudoin y Sangster (1992)
República Checa	1	Pribram	65	M	2	Schroll (1953)	Beaudoin y Sangster (1992)

País	Número de depósitos	Nombre del depósito (distrito)	Concentración promedio de Hg <sub>sp</sub> , ppm *1	Material analizado *2	Número de muestras	Referencias para análisis y clasificación de depósitos	Referencias adicionales para la clasificación de depósitos
Alemania	1	Clausthal	283	M	3	Kleinevoss (1971)	Beaudoin y Sangster (1992)
Alemania	1	Bad Grund	293	M	1	Kleinevoss (1971)	Beaudoin y Sangster (1992)
Alemania	1	Freiberg	30	M	2	Schroll (1953)	Beaudoin y Sangster (1992)
España	1	Osor	0.4	M	5	Schwartz (1972)	
Kazakastán	4	Bezymyannoye Kizyl-bel', Kok-tyube, Peraval'noye	86	M	8	Ozerova (1959)	
Ucrania	1	Nagol'no-Tarasovskoye	6	M	1	Saukov (1946; quoted by Dvornikov, 1962)	
Ucrania	1	Gruzskaya	73	M	1	Dvornikov, 1962)	
Estados Unidos	1	Coeur d'Alene	95	M	14	Fryklund y Fletcher (1956)	
Estados Unidos	5	Armenius, Madison. (Shawangunk), Valzinco, Wheatley	23	M	5	Jolly y Heyl (1968)	Ingham (1940), Luttrell (1966), Smith (1977)
			Vetas preterciarias en piedra caliza/dolomita				
Canadá	2	Blue Bell, Silver L.	18	M	3	Jonasson y Sangster (1975)	CIM (1957), Franklin y Mitchell (1977)
Estados Unidos	11	(Central Kentucky), (Central Tennessee vein district)	48	M	27	Jolly y Heyl (1968)	Jewell (1947), Jolly y Heyl (1964), Kyle (1976)
Estados Unidos	1	Dove Creek	13	C	1	Maher y Fagan (1970)	Jolly y Heyl (1964)

País	Número de depósitos	Nombre del depósito (distrito)	Concentración promedio de Hg <sub>sp</sub> , ppm *1	Material analizado *2	Número de muestras	Referencias para análisis y clasificación de depósitos	Referencias adicionales para la clasificación de depósitos
Depósitos tipo veta (y reemplazamiento en carbonatos) relacionados con magmatismo terciario							
Bulgaria	1	Madzharovo	0.5	M	2	Ozerova (1983)	Breskovska y Tarkian (1993)
Perú	20	Alianza, Atacocha, Austria Duvaz, Casapalca-Centromin, Casapalca-Gubbins, Cerro de Pasco, Colquirrumi, El Brocal, Huaron, Morococha, Pachapaqui, Perubar, Raura, San Cristobal, Santa Rita, Santander, Uchuchacua, Volcan, Yauli, Yauricocha	31	C	20	Cavanagh y Glover (1991)	Vasquez (1974), Soler (1982, 1986)
Perú	1		31	C	1	(confidencial)	
Perú	1		76	C	1	(confidencial)	
Perú	1		147	C	1	(confidencial)	
Serbia	1	Trepca	33	M	1	Kleinevoss (1971)	Jankovic (1982)
Proterozoico MVT							
Canadá	3	Long L., Strathcona, Thirty Islands L.	14	M	9	Jonasson y Sangster (1975)	
Fanerozoico MVT							

País	Número de depósitos	Nombre del depósito (distrito)	Concentración promedio de Hg <sub>sp</sub> , ppm *1	Material analizado *2	Número de muestras	Referencias para análisis y clasificación de depósitos	Referencias adicionales para la clasificación de depósitos
Austria	1	Lafatsch	1	C	15	Cerny (1989)	
Austria	1	Bleiberg	2	C	100	Schroll (1983)	Zeeh y Bechstädt (1994)
Canadá	14	Bankeno, Ferndale, Gays R., H.B., Kaladar Road, Kicking Horse, Little Pike Day, Monarch, Newfoundland Zinc, Pine Point, Schoolhouse, Tobermory, Walton, Wiarton	5	M	83	Jonasson y Sangster (1975)	
Alemania	1	Stolberg	0.2	M	8	Krahn <i>et al.</i> (1986)	
Perú	1	San Vicente	4	C	1	Cavanagh y Glover (1991)	Fontboté y Gorzawski (1990)
Eslovenia	1	Mezica	0.4	M	4	Terzic (1972)	Cerny (1989)
Estados Unidos	20	Almedia, Bamford, (East Tennessee), Friedensville, (Southwest Virginia), (Timberville), (Tri-State), (Upper Mississippi Valley)	3	M	29	Jolly y Heyl (1968)	Hoagland (1971), Smith (1977), Sangster (1990)
Estados Unidos	1	Nashville Prospect	0.05	M	1	Jones (1988)	
Estados Unidos	18	(East Tennessee), (Southwest Virginia)	21	C	19	Maher y Fagan (1970)	
Arenisca de plomo-zinc							
Alemania	1	Maubach	10	M	1	Kulms (1970)	
Depósitos no clasificados en piedra caliza/dolomita							
Canadá	1	Prairie Creek	933	M	2	Jonasson y Sangster (1975)	
Irlanda	1	Keel	227	M	113	Watling (1974)	
Italia	1	Gorno	55	M	20	Fruth y Maucher (1966)	
Kazakastán	1	Achisai	6	M	3	Fursov (1958)	
España	1	Rubiales	2054	M	76	Arias <i>et al.</i> (1992)	
Estados Unidos	3	Linville Falls, Serpent Mount, Smith	102	M	3	Jolly y Heyl (1968)	
Estados Unidos	1	East Fork Cabin Creek	10	C	1	Maher y Fagan (1970)	

Notas: \*1 Las concentraciones de Hg<sub>sp</sub> se refieren al contenido de mercurio en esfalerita (análisis mineral) o al contenido teórico de mercurio en esfalerita en mena (ver texto).

\*2 M = análisis de minerales; C = análisis de concentrados.



## 9 Anexos

### 9.1 Formulario normalizado para la presentación del inventario

<b>Número de sección</b>	Encabezado; Descripción del contenido																																																																								
<b>1</b>	<b>Resumen</b>																																																																								
	Debe incluir una descripción general de los resultados																																																																								
<b>1.1</b>	Liberaciones por principales categorías de fuente																																																																								
	<p>El resumen debe incluir una breve descripción de las liberaciones significativas a todos los medios relevantes para las principales categorías de fuente según lo definido en la matriz de selección. Asimismo, debe incluir una tabla que muestre la suma de liberaciones cuantificadas a partir de cada una de las principales categorías de fuente según la clasificación del presente instrumental. Es importante evitar la duplicación contable al sumar el total de liberaciones cuantificadas (reste las cifras contadas dos veces, señale brevemente al final de la tabla qué cantidades se restaron).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Principal categoría de fuente</th> <th>Aire</th> <th>Agua</th> <th>Tierra</th> <th>Productos</th> <th>Desechos/residuos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Producción primaria (virgen) de metales</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Uso deliberado de mercurio en procesos industriales</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Productos de consumo con uso deliberado de mercurio</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otros usos deliberados en procesos/productos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Producción de metales reciclados (producción "secundaria" de metales)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Incineración de desechos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Disposición, depósito/rellenos sanitarios de desechos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cremación y cementerios</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total de liberaciones cuantificadas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Como opción adicional, es posible presentar las liberaciones en una tabla por separado con otro desglose: 1) movilización de impurezas de mercurio, 2) usos deliberados de mercurio y 3) tratamiento de desechos. Para ello, es necesario hacer sumas cruzadas entre las diversas categorías principales y reasignar las liberaciones de la minería con uso intencional de mercurio y la extracción de oro y plata con el método de amalgamación de mercurio (si se aplica en el país).</p>	Principal categoría de fuente	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos/residuos	Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía						Producción primaria (virgen) de metales						Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio						Uso deliberado de mercurio en procesos industriales						Productos de consumo con uso deliberado de mercurio						Otros usos deliberados en procesos/productos						Producción de metales reciclados (producción "secundaria" de metales)						Incineración de desechos						Disposición, depósito/rellenos sanitarios de desechos						Cremación y cementerios						Total de liberaciones cuantificadas					
Principal categoría de fuente	Aire	Agua	Tierra	Productos	Desechos/residuos																																																																				
Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía																																																																									
Producción primaria (virgen) de metales																																																																									
Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio																																																																									
Uso deliberado de mercurio en procesos industriales																																																																									
Productos de consumo con uso deliberado de mercurio																																																																									
Otros usos deliberados en procesos/productos																																																																									
Producción de metales reciclados (producción "secundaria" de metales)																																																																									
Incineración de desechos																																																																									
Disposición, depósito/rellenos sanitarios de desechos																																																																									
Cremación y cementerios																																																																									
Total de liberaciones cuantificadas																																																																									

<b>1.2</b>	Subcategorías importantes por fuente																																																												
	Esta sección debe incluir las liberaciones calculadas para las subcategorías importantes (en una tabla sintética u otra modalidad adecuada), así como breves comentarios sobre los principales hallazgos.																																																												
<b>1.3</b>	Datos faltantes																																																												
	Además, hay que identificar los principales faltantes, las principales vías de liberación y las áreas prioritarias para la recopilación y mejora de datos.																																																												
<b>2</b>	<b>Fuentes de liberación de mercurio identificadas</b>																																																												
	Lista de todas las subcategorías de fuente de liberaciones de mercurio identificadas en el país en una tabla general. De no haber factores de emisión ni datos específicos medidos por fuente para la cuantificación de liberaciones se anotará “No hay datos disponibles”. En el caso de las subcategorías de fuente mencionadas en el presente instrumental que no han sido identificadas en el país, habrá de incluirse la frase “No se identificaron en el país” a fin de dejar fe de la investigación de la actividad y la constatación de su ausencia.																																																												
<b>3</b>	<b>Cuantificación de liberaciones de mercurio</b>																																																												
<b>3.1</b>	Principal categoría de fuente 1 de acuerdo con la clasificación del instrumental, sólo para categorías identificadas en el país [por ejemplo, “Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía”]																																																												
<b>3.1.1</b>	Subcategoría de fuente 1 de acuerdo con la clasificación del instrumental, sólo para subcategorías identificadas en el país [por ejemplo, “Combustión de carbón en grandes centrales de energía”]																																																												
	<p>Subcategoría por descripción de los datos clave y los cálculos aproximados de las liberaciones. Cada subsección aportará información sobre el proceso básico, los enfoques y los medios empleados para investigar las posibles liberaciones y presentar lo encontrado. Se espera que las secciones sean relativamente breves a fin de que el informe no sea demasiado voluminoso. Se incluirá información clave para cada sección; al final de cada una de ellas se presentará una tabla sintética como la que aparece a continuación (o parecida), modificada en función de las etapas del ciclo de vida señaladas y los tipos de datos del inventario. La sección 4.4.7 del instrumental contiene ejemplos sobre el uso práctico de la tabla.</p> <p>Consulte también las directrices para la elaboración de informes en la sección 4.5 del presente instrumental, donde encontrará más información sobre los principios de presentación de informes.</p> <table border="1" data-bbox="272 1518 1450 2065"> <thead> <tr> <th>[Nombre de la subcategoría]</th> <th>Unidad</th> <th>Producción</th> <th>Uso</th> <th>Disposición</th> <th>Suma de liberaciones a la vía a partir de la sección del ciclo de vida evaluada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Tasa de actividad</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Factor de entradas para la etapa *1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Entradas calculadas para la etapa *2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><b>Factores de distribución de salidas para la etapa: *3</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>- Aire</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>- Agua</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>- Tierra</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>- Productos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>- Tratamiento general de desechos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	[Nombre de la subcategoría]	Unidad	Producción	Uso	Disposición	Suma de liberaciones a la vía a partir de la sección del ciclo de vida evaluada	<b>Tasa de actividad</b>					-	Factor de entradas para la etapa *1					-	Entradas calculadas para la etapa *2					-	<b>Factores de distribución de salidas para la etapa: *3</b>						- Aire					-	- Agua					-	- Tierra					-	- Productos					-	- Tratamiento general de desechos					-
[Nombre de la subcategoría]	Unidad	Producción	Uso	Disposición	Suma de liberaciones a la vía a partir de la sección del ciclo de vida evaluada																																																								
<b>Tasa de actividad</b>					-																																																								
Factor de entradas para la etapa *1					-																																																								
Entradas calculadas para la etapa *2					-																																																								
<b>Factores de distribución de salidas para la etapa: *3</b>																																																													
- Aire					-																																																								
- Agua					-																																																								
- Tierra					-																																																								
- Productos					-																																																								
- Tratamiento general de desechos					-																																																								

	- Tratamiento de desechos específico por sector					-
	<b>Salidas/liberaciones calculadas a: *4</b> - Aire - Agua - Tierra - Productos - Tratamiento de desechos generales - Tratamiento de desechos específico por sector					
<b>3.1.2 [etc.]</b>	Siguiete subcategoría cuantificada, etc.					
<b>4</b>	<b>Conclusiones</b>					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Principales subcategorías que liberan mercurio a cada medio;</li> <li>• Resultados y evaluaciones de balances con verificación cruzada de entradas/salidas, si se llevó a cabo;</li> <li>• Medidas aplicadas para controlar dichas liberaciones o cambios en procesos/actividades que se supone modificarán sustancialmente tales liberaciones;</li> <li>• Principales faltantes de datos y percepción de su importancia;</li> <li>• Prioridades en cuanto a la subsiguiente evaluación, generación de datos, mediciones o medidas de política pública.</li> </ul>					
<b>REFERENCIAS</b>	Referencias (incluir: nombre del autor o autores, año de la publicación, título, nombre de la publicación, número de la serie, número de páginas, nombre, ciudad y país de la editorial, enlace de Internet si los datos fueron encontrados en línea, fecha de acceso a la página Web. Las referencias que aparecen en el presente instrumental pueden servir como modelo.					
<b>APÉNDICES</b>	Apéndices en función de lo que se considere pertinente (directrices en la sección 4.5).					

## 9.2 Muestra de hoja de cálculo para facilitar el cálculo de las liberaciones de mercurio

1202. Se ha diseñado una hoja de cálculo en formato electrónico como complemento del presente instrumental para facilitar el cálculo de entradas y salidas para cada una de las categorías de fuente. Es posible descargar la hoja de cálculo desde la página Web del PNUMA, Productos Químicos: <http://www.chem.unep.ch/mercury/> También es posible solicitarla directamente al PNUMA Productos Químicos a través de la dirección que aparece en la contratapa del presente documento.

1203. La hoja de cálculo de Excel contiene varias hojas de trabajo: primero, una hoja sintética con generalidades sobre las principales salidas de cada categoría; después, nueve hojas de trabajo con cada categoría de fuente.

1204. La propia hoja de cálculo contiene instrucciones específicas sobre su uso. Es sumamente importante que los usuarios lean los capítulos del instrumental con todo detalle antes de empezar a trabajar en la hoja de cálculo, ya que no es muy clara y existe el riesgo de cometer errores graves si los usuarios no se familiarizan con la metodología y los principios propuestos, y si no se leen y comprenden cabalmente los datos aportados. Además, antes de trabajar con una subcategoría de fuente en la hoja de cálculo hay que estudiar la sección del instrumental donde se describe la categoría de fuente.

1205. El capítulo 5 incluye descripciones detalladas de las diferentes categorías de fuente con posibilidad de causar liberaciones de mercurio y sugiere factores de entrada y salida para diversas subcategorías en caso de que no se disponga de datos específicos por fuente. Se han ingresado las fórmulas para los cálculos por defecto en la hoja de cálculo de Excel en aquellas subcategorías que cuentan con sugerencias de factores por defecto. Cuando se sugieren rangos por defecto, la fórmula aplica el factor máximo. Como ya se ha subrayado a lo largo del instrumental, siempre serán preferibles los factores de entradas y salidas locales o nacionales que estén bien documentados. Si se dispone de ellos, habrán de modificarse, manualmente, los factores de entradas y salidas que aparecen en las hojas de trabajo. Asimismo, cuando no se sugieren factores por defecto, los usuarios deben ingresar los datos necesarios y la fórmula de cálculo para las condiciones concretas en consideración.

1206. El principal propósito para aplicar estos factores por defecto es obtener una primera impresión respecto a la relevancia de cada subcategoría como agente liberador de mercurio dentro del país. Por lo general, los cálculos de las liberaciones habrán de redefinirse y precisarse (después del cálculo inicial con los factores por defecto) antes de tomar medidas trascendentes.

1207. El instrumental no incluye las hojas de cálculo con cada una de las categorías de fuente; sin embargo, para efectos ilustrativos, las tablas 9.1 y 9.2 muestran ejemplos de hojas de cálculo para las categorías de fuente 5.1 y 5.2, es decir, extracción y uso de combustibles/fuentes de energía y productos de consumo con uso deliberado de mercurio respectivamente.

1208. Una vez que se hayan completado las nueve hojas de cálculo de Excel para las diferentes categorías de fuentes, se generará automáticamente una tabla sintética a fin de mostrar el total de las liberaciones de todas las categorías. La tabla 9.3 presenta una muestra y fue tomada del inventario de reciente publicación titulado ACAP Arctic Mercury Release Inventory (ACAP, 2005). Nota: la tabla del ejemplo ha sido adaptada a las condiciones de Dinamarca y tiene algunos aspectos distintos de la hoja de cálculo, además de que las categorías de fuente no son del todo iguales.

*Tabla 9-1 Ejemplo de una hoja de cálculo Excel con datos de entradas y salidas para liberaciones a diferentes medios en la categoría 5.1 Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía*





*Tabla 9-3 Entradas y salidas de mercurio a todos los medios reportadas en Dinamarca, 2001; toneladas métricas de mercurio/año. Si desea detalles sobre los cálculos y las incertidumbres, vea la respuesta al cuestionario que aparece en un apéndice del documento referido (ACAP, 2005).*

Medias y sumas redondeadas	Nuevas entradas a la biosfera		Liberaciones/salidas reportadas a (medias de rangos):								Sum, rep. Liberaciones (medias)	
	Rango	Media	Aire	Agua	Tierra	Desechos municipales	Desechos peligrosos/médicos	Depósito de desechos por sector *1	Sistema de aguas residuales	Derivados		
<b>Movilización de impurezas de mercurio</b>												
Grandes plantas de combustión de carbón	0.6-1	0.8	0.3	0	0	0	0	0.1	0	0.3		<b>0.7</b>
Otros usos y combustión de carbón		0	0	0	0	0	0	0	0	0		<b>0</b>
Extracción y uso de petróleo, gas y biocombustibles	0.06-0.33	0.2	0.06	0.06	0.003	0.006	0	0.01	0.002	0		<b>0.1</b>
Producción de cemento	0.1-0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0.03	0	0.09		<b>0.2</b>
Otras extracciones primarias y procesamiento de materiales	0.011-0.04	0.03	0	0	0.03	0	0	0	0	0		<b>0.03</b>
<b>Subsuma, movilización de impurezas de mercurio</b>		<b>1.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>	<b>0.006</b>	<b>0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.002</b>	<b>0.4</b>		<b>1.1</b>
<b>Uso deliberado de mercurio</b>												
Empastes dentales con amalgama	1.1-1.3	1.2	0.2	0	0.07	0.1	1.2	0	0.2	NR		<b>1.8</b>
Pilas	0.07-0.15	0.1	0	0	0	0.4	0.4	0	0	NR		<b>0.8</b>
Termómetros	0.016-0.024	0.02	0	0	0	0.03	0.1	0	0.03	NR		<b>0.2</b>
Manómetros, medidores de presión sanguínea, uso educativo	0.013-0.049	0.03	0.04	0	0	0.04	0.3	0	0.04	NR		<b>0.4</b>
Interruptores, relevadores y contactos	0-0.024	0.01	0	0	0	0.2	1.1	0	0	NR		<b>1.3</b>
Fuentes de luz	0.06-0.17	0.1	0.005	0	0	0.07	0.07	0	0	NR		<b>0.1</b>
Otros productos y procesos	0.135-2.021	1.1	0	0	0	0.4	0.05	0.03	0.01	NR		<b>0.5</b>
<b>Subsuma, uso deliberado de mercurio</b>		<b>2.6</b>	<b>0.2</b>	<b>0</b>	<b>0.07</b>	<b>1.3</b>	<b>3.2</b>	<b>0.03</b>	<b>0.2</b>	<b>0</b>		<b>5.1</b>
<b>Tratamiento de desechos y sistemas de aguas residuales</b>												
Incineración de desechos generales/municipales	NR	NR	0.6	0	0	0	0	2.5	0	NR		<b>3.1</b>
Incineración de desechos peligrosos/médicos	NR	NR	0.008	0.001	0	0	NR	0	0	NR		<b>0.009</b>
Rellenos sanitarios/depositos *3	NR	NR	NA	0	0	0.08	0	2.8	0.003	NR		<b>2.9</b>
Sistemas de aguas residuales	NR	NR	0.04	0.2	0.08	0	0	0.06	NR	NR		<b>0.4</b>
Reciclaje de otros materiales	NR	NR	0.04	0	0.04	0.005	0	0.2	0	0.9		<b>1.2</b>
Tratamiento de otros desechos	NR	NR	0	0	0	0	0	0	0	0		<b>0</b>



<b>Subsuma, tratamiento de desechos y sistemas de aguas residuales *2</b>			<b>0.71</b>	<b>0.20</b>	<b>0.12</b>	<b>0.085</b>	<b>0.0</b>		<b>5.5</b>	<b>0.003</b>	<b>0.9</b>	
---	--	--	-------------	-------------	-------------	--------------	------------	--	------------	--------------	------------	--

Notas:

\*1: Los depósitos de desechos por sector específico constituyen la categoría de “otras disposiciones controladas”. Incluyen, por ejemplo, depósitos especiales para residuos de la combustión de carbón en algunos países y los depósitos propios de algunas industrias (sujetas a control por parte de las autoridades).

\*2: No hay que descartar la posibilidad de duplicación contable en las sumas generales para el tratamiento de desechos; ésta depende de las prácticas nacionales y el reporte de datos al responder los cuestionarios. Por lo tanto, no se incluyeron estas sumas en la tabla.

\*3: Las cifras de salidas para rellenos sanitarios/depósitos a los desechos municipales y desechos peligrosos/médicos describen la distribución de ambos tipos de depósito, mas no el desplazamiento físico del mercurio entre los depósitos y los desechos municipales o peligrosos.