



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



**PRODUCTOS QUÍMICOS**

# **EVALUACIÓN MUNDIAL SOBRE EL MERCURIO**



Gota de mercurio

**IOMC**

**PROGRAMA INTERORGANISMOS PARA LA GESTION RACIONAL DE LAS SUBSTANCIAS QUIMICAS**

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





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



**PRODUCTOS QUÍMICOS**

# EVALUACIÓN MUNDIAL SOBRE EL MERCURIO

Publicado por el PNUMA Productos Químicos

Ginebra, Suiza

Diciembre de 2002

Versión en español publicada en Junio 2005

## **Delimitación de responsabilidades**

El propósito de la presente publicación es orientar. Aun considerando que la información que aquí se da es fidedigna, el PNUMA declina toda responsabilidad en cuanto a posibles inexactitudes u omisiones y a las consecuencias que éstas puedan tener. Ni el PNUMA ni ninguna de las personas implicadas en la preparación del presente informe podrán ser tenidos por responsables de cualquier tipo de lesión, pérdida, daño o perjuicio que pueda causarse a personas que hayan actuado según hayan comprendido la información presentada en esta publicación.

La designación empleada y la presentación del material del presente informe no expresan en ningún modo 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 tampoco en relación con cualquier tipo de delimitación de sus fronteras o límites.

Esta versión en español ha sido posible gracias al apoyo del Gobierno del Canadá.

Esta publicación se ha producido con el apoyo del  
Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.

Esta publicación se ha producido dentro del marco del  
Programa Interorganismos para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas (IOMC).

*El Programa Interorganismos para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas fue establecido en 1995 por el PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI y OCDE (organizaciones participantes), a raíz de las recomendaciones formuladas en 1992 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo con miras a reforzar la cooperación y aumentar la coordinación en el campo de la seguridad química. En enero de 1998, UNITAR se unió oficialmente al IOMC como organización participante. El objetivo del IOMC consiste en fomentar la coordinación de las políticas y actividades de las organizaciones participantes, conjuntamente o por separado, con miras a la buena gestión 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, pero citando su origen y haciendo referencia al número de documento correspondiente. Deberá enviarse a Productos Químicos, PNUMA, una copia de la publicación que contenga la cita o reimpresión.

Para obtener copias del presente informe, dirigirse a:

*PNUMA Productos químicos*  
11-13, chemin des Anémones  
CH-1219 Châtelaine, Geneva  
Switzerland  
Teléfono: +41 22 917 1234  
Fax: +41 22 797 3460  
Correo electrónico: [chemicals@unep.ch](mailto:chemicals@unep.ch)  
Sitio web: <http://www.chem.unep.ch>

# Índice del informe

<b>Conclusiones principales del informe.....</b>	<b>iii</b>
<b>Resumen del informe .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Introducción .....</b>	<b>25</b>
1.1 Antecedentes y mandato .....	25
1.2 Presentación de la información para la elaboración del presente informe .....	26
1.3 Fuentes de la información con que se elaboró el presente informe .....	28
1.4 Ámbito de aplicación y alcance del presente informe.....	28
1.5 Objeto del presente informe .....	29
<b>2. Química.....</b>	<b>31</b>
2.1 Panorama general.....	31
2.2. Especies de mercurio y su transformación en la atmósfera.....	33
2.3 Especies de mercurio y su transformación en medios acuáticos .....	36
2.4 Especies de mercurio y su transformación en suelos.....	37
<b>3. Toxicología .....</b>	<b>38</b>
3.1 Panorama general.....	38
3.2 Metilmercurio .....	41
3.3 Mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio.....	48
3.4 Interacciones – posibles efectos perjudiciales de ciertos nutrientes .....	53
<b>4 Exposición actual al mercurio y evaluaciones del riesgo para la salud humana.....</b>	<b>55</b>
4.1 Panorama general.....	55
4.2 Evaluaciones de niveles de exposición que generan riesgos.....	56
4.3 Vías de exposición al mercurio – panorama general .....	62
4.4 Exposición por dieta a base de pescado y mamíferos marinos.....	68
4.5 Datos presentados sobre concentraciones de mercurio en peces.....	75
<b>5 Efectos del mercurio en el medio ambiente .....</b>	<b>81</b>
5.1 Panorama general.....	81
5.2 Niveles de efectos ecotoxicológicos.....	83
5.3 Ecosistemas en riesgo y especies vulnerables .....	87
5.4 Concentraciones de mercurio en los medios ambientales .....	96
<b>6 Fuentes y circulación del mercurio en el medio ambiente mundial.....</b>	<b>97</b>
6.1 Panorama general .....	97
6.2 Fuentes naturales de mercurio .....	102

6.3	Fuentes antropógenas de mercurio.....	103
6.4	Trayectorias del mercurio hacia el medio ambiente y dentro del medio ambiente.....	116
<b>7</b>	<b>Producción y uso actuales del mercurio .....</b>	<b>132</b>
7.1	Panorama general.....	132
7.2	Producción mundial.....	135
7.3	Pautas de uso actual.....	137
7.4	Cuestiones sobre producción cloroalcalina y extracción de oro.....	146
<b>8</b>	<b>Tecnologías y prácticas de prevención y de control.....</b>	<b>152</b>
8.1	Panorama general.....	152
8.2	Substitución.....	157
8.3	Reducir las liberaciones de mercurio.....	164
8.4	Prácticas de gestión de desechos.....	181
8.5	Costos y efectividad del control del mercurio.....	186
<b>9</b>	<b>Iniciativas para controlar liberaciones y limitar el uso y la exposición.....</b>	<b>195</b>
9.1	Panorama general.....	195
9.2	Iniciativas nacionales.....	196
9.3	Acuerdos e instrumentos internacionales.....	221
9.4	Programas y organizaciones internacionales.....	234
9.5	Iniciativas subregionales y regionales.....	241
<b>10</b>	<b>Datos e información faltantes.....</b>	<b>249</b>
10.1	National research and information needs.....	249
10.2	Falta de información general en todo el mundo.....	250
10.3	Elaboración de instrumentos de política.....	255
<b>11</b>	<b>Opciones para hacer frente a todo efecto significativo del mercurio a escala mundial.....</b>	<b>258</b>
11.1	Panorama general.....	258
11.2	Conclusiones relativas a los efectos perjudiciales significativos del mercurio a escala mundial.....	259
11.3	Conclusiones del Grupo de Trabajo sobre posibles opciones para hacer frente a los efectos del mercurio de importancia mundial.....	261
11.4	Otros aspectos relativos a las posibles opciones para hacer frente a todo efecto perjudicial significativo del mercurio a escala mundial.....	267
11.5	Propuestas para acción inmediata a consideración del Consejo de Administración del PNUMA.....	270
<b>12</b>	<b>Glosario, siglas y abreviaturas.....</b>	<b>272</b>
	<b>Referencias.....</b>	<b>275</b>

## Conclusiones principales del informe

### ¿POR QUÉ DEBEMOS PREOCUPARNOS? ¿PODEMOS CAMBIAR LA SITUACION?

#### El mercurio está presente en todo el medio ambiente

1. Los niveles de mercurio en el medio ambiente han aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial. El mercurio se encuentra actualmente en diversos medios y alimentos (especialmente el pescado) en todas partes del mundo a niveles que afectan adversamente a los seres humanos y la vida silvestre. La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de mercurio, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del mercurio.

#### El mercurio es persistente y circula por todo el mundo

2. La fuente más importante de contaminación con mercurio son las emisiones al aire, pero se producen también emisiones de mercurio de diversas fuentes que van directamente al agua y a la tierra. Una vez liberado, el mercurio permanece en el medio ambiente, donde circula entre el aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota en diversas formas. Las emisiones actuales se añaden al fondo de mercurio existente en el mundo que se sigue movilizándose, depositándose en la tierra y el agua y volviendo a mobilizarse.

3. La forma en que se libera el mercurio varía según los tipos de fuentes y otros factores. La mayoría de las emisiones al aire son en forma de mercurio elemental gaseoso, que es transportado en todo el mundo a regiones alejadas de las fuentes de emisión. Las emisiones restantes se producen en forma de mercurio gaseoso, inorgánico, iónico (como el cloruro de mercurio) o consolidado en partículas emitidas. Estas formas tienen un período de vida más corto en la atmósfera y se pueden depositar en tierras o masas de agua a distancias aproximadas de 100 a 1000 kilómetros de su fuente. El mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en mercurio iónico, que crea una vía importante para el depósito del mercurio elemental emitido.

4. Una vez depositado, el mercurio puede cambiar de forma (principalmente por metabolismo microbiano) y convertirse en metilmercurio, que tiene la capacidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y concentrarse en las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos). El metilmercurio es, pues, la forma que causa mayor preocupación. Casi todo el mercurio que se encuentra en los peces es metilmercurio.

#### Efectos graves de la exposición al mercurio

5. El mercurio tiene diversos efectos adversos, importantes y documentados, sobre la salud humana y el medio ambiente de todo el mundo. El mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema nervioso en desarrollo. El nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta. Los seres humanos pueden estar expuestos al mercurio de diversas formas, incluido, entre otras cosas, el consumo de pescado, los usos ocupacionales y domésticos, las amalgamas dentales y las vacunas que contienen mercurio.

6. El metilmercurio tiene efectos adversos para los seres humanos y la vida silvestre. Este compuesto atraviesa rápidamente la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica, y es un neurotóxico que puede afectar muy negativamente el desarrollo del cerebro. Los estudios han demostrado que la presencia de metilmercurio en las dietas de mujeres embarazadas puede surtir efectos adversos sutiles pero persistentes en el desarrollo del niño, que se observan desde el comienzo de la edad escolar. Algunos estudios indican, además, que los pequeños aumentos en la exposición al metilmercurio pueden afectar negativamente al sistema cardiovascular. Un número importantísimo de personas y animales silvestres están actualmente expuestos a niveles que plantean riesgos de este tipo y posiblemente otros efectos adversos.

7. Algunos grupos reaccionan de manera particular a la exposición al mercurio, en particular los fetos, los recién nacidos y los niños pequeños, debido a que el sistema nervioso en desarrollo es muy delicado. De ahí que los padres, las mujeres embarazadas y las que pudieran estarlo deban tener plena conciencia de los posibles daños que causa el metilmercurio. El consumo moderado de pescado (con niveles de mercurio bajos) probablemente no presentará un nivel peligroso de exposición. Las poblaciones indígenas, sin embargo, así como otros grupos que consumen grandes cantidades de pescado o mamíferos marinos contaminados, y los trabajadores que están expuestos al mercurio, como los que trabajan en actividades mineras de oro y plata en pequeña escala, pueden estar expuestos a niveles altos de mercurio y, por lo tanto, corren riesgo.

8. Aparte de su importancia para muchas culturas indígenas, el pescado constituye un componente muy valioso de la dieta humana en muchas partes del mundo, ya que proporciona nutrientes que, por regla general, no se encuentran en otras fuentes alimenticias. El mercurio constituye una importante amenaza para esta fuente de alimentos. De igual modo, el pescado contaminado puede crear graves problemas económicos para las comunidades y regiones que dependen de la pesca para su supervivencia.

9. Hay también algunos ecosistemas y poblaciones de vida silvestre que son particularmente vulnerables, entre ellos los principales depredadores de las redes alimenticias acuáticas (como las aves y los mamíferos que se alimentan de pescado), los ecosistemas del Ártico, los humedales, los ecosistemas tropicales y las comunidades microbianas del suelo.

### **El éxito de las intervenciones**

10. La contaminación con mercurio surte importantes efectos en los planos local, nacional, regional y mundial. Estos efectos se pueden combatir mediante un conjunto de medidas en cada uno de esos planos, estableciendo metas de reducción del uso, las emisiones y las exposiciones. Numerosas medidas adoptadas en Europa, América del Norte y otras partes han logrado reducir los usos y las liberaciones de mercurio. Los inventarios, sin embargo, todavía son incompletos en estas regiones y algunas liberaciones todavía alcanzan niveles importantes. La magnitud de las disminuciones a nivel del medio ambiente y la mejora de los ecosistemas debida a la reducción de las liberaciones de mercurio varían considerablemente con arreglo a las características del ecosistema local y a otros factores, y, en algunos casos, el proceso puede demorar varios decenios. Con todo, una evaluación de los niveles de mercurio realizada en lagos de Suecia indica que, al reducirse las liberaciones, los niveles de mercurio en el medio ambiente, por ejemplo en los peces de agua dulce, pueden reducirse significativamente en lugares específicos al cabo de uno o dos decenios.

### **¿POR QUÉ NO BASTAN LAS MEDIDAS LOCALES O REGIONALES POR SÍ SOLAS?**

#### **La circulación mundial del mercurio agrava el problema**

11. Como se explicó anteriormente, el mercurio contenido en la atmósfera tienen orígenes locales o regionales y también hemisféricos o mundiales. Además de las fuentes locales de liberación de mercurio (como la incineración de basura y la combustión del carbón), las concentraciones generales de fondo en todo el mundo (“global pool”) contribuyen significativamente a la cantidad total de mercurio que se encuentra en muchos lugares. Por lo mismo, prácticamente todas las fuentes locales pueden contribuir a esa acumulación mundial. Los ríos y las corrientes oceánicas también actúan como medios de transporte del mercurio a grandes distancias.

12. En algunos países, el depósito de mercurio local y regional ha incrementado gradualmente los niveles de contaminación hasta tal punto que en los últimos decenios se han adoptado medidas correctivas para reducir las liberaciones. Sin embargo, el transporte a largas distancias ha hecho que incluso los países que registran emisiones mínimas de mercurio y otras zonas apartadas de las actividades industriales sufran efectos adversos. Por ejemplo, se han observado altos niveles de mercurio en el Ártico, muy lejos de las fuentes de liberaciones importantes.



### **Los efectos del mercurio en la pesca mundial**

13. Muchas especies de peces que se encuentran en aguas internacionales emigran a lugares remotos y diversos. Además, después de la captura, el pescado comercial se suele exportar a diversas naciones de todo el mundo, a lugares muy alejados de su lugar de origen. Por lo tanto, la contaminación con mercurio de lagos, ríos y especialmente océanos es una cuestión verdaderamente mundial, que afecta a las industrias pesqueras y a los consumidores de pescado de todo el mundo.

### **El mercurio puede ser más problemático para las regiones menos adelantadas**

14. Con el aumento de la conciencia acerca de los efectos adversos del mercurio, se ha reducido significativamente el uso de este mineral en muchos países industrializados. Hay alternativas para la mayoría de los usos, que se pueden adquirir en el mercado a precios competitivos. Estas reducciones del uso, sin embargo, han dado lugar a una reducción de la demanda en relación con la oferta de mercurio que ha mantenido bajos los precios del mercurio y ha hecho que siga utilizándose este metal (y en algunos casos, aumentando su uso) y la tecnología de mercurio obsoleta en naciones o regiones menos adelantadas. Dado que los reglamentos y las restricciones relativas al mercurio son menos exhaustivos y se no se hacen cumplir como es debido en muchas regiones menos desarrolladas, estas tendencias han contribuido a que, en algunas zonas, se concentren de manera desproporcionada algunos de los riesgos que entraña el mercurio para la salud y el medio ambiente.

### **El mercurio es objeto de un uso y un comercio internacional considerables**

15. Pese a que hay un mayor conocimiento de los riesgos que entraña el mercurio, éste se sigue usando en diversos productos y procesos en todo el mundo. El metal de mercurio elemental se utiliza en la minería del oro y la plata en pequeña escala; la producción de cloro alcalino; los manómetros de medición y control; los termómetros, interruptores eléctricos; lámparas fluorescentes, y amalgamas dentales. Los compuestos del mercurio se utilizan en baterías, biocidas en la industria del papel, productos farmacéuticos, pinturas y desinfectantes de semillas y como reactivos de laboratorio y catalizadores industriales.

16. Hay un comercio importante y permanente de mercurio y productos que contienen mercurio, parte del cual es ilícito y no está controlado ni regulado. Esta corriente de mercurio en el comercio internacional es la parte menos conocida de los importantes movimientos mundiales de este mineral. Pese a que en los últimos años han disminuido las cantidades de mercurio comercializadas (y extraídas), todavía se transportan cantidades considerables. Preocupa en particular el hecho de que no ha disminuido la demanda en muchas naciones en desarrollo. El mercurio disponible en el mercado mundial proviene de diversas fuentes, entre otras:

- La minería del mercurio (extraído de minerales de la corteza de la tierra), ya sea como producto principal o como subproducto de la extracción y la refinación de otros metales (oro, zinc) o minerales;
- Las existencias privadas y gubernamentales (mercurio en plantas de cloro-álcali, reservas oficiales);
- El mercurio reciclado de productos agotados y desechos industriales.

17. Aunque sujetos a reglamentos y restricciones, actualmente en vigor, muchos de los usos y movimientos del mercurio y de productos que contienen mercurio probablemente darán lugar a liberaciones de mercurio al medio ambiente mundial. Entretanto, siguen constituyendo un peligro de liberaciones futuras las grandes cantidades de mercurio que permanecen en desechos de minería, depósitos de basura y sedimentos, así como en los almacenes. En consecuencia, tal vez sea conveniente la adopción de medidas para reducir, manejar y ordenar los usos, las existencias y el comercio en los planos local, regional, nacional e internacional para prevenir o reducir al mínimo las futuras liberaciones.

## ¿CÓMO PENETRA EL MERCURIO EN LAS PERSONAS Y LA VIDA SILVESTRE?

18. Aunque las condiciones locales pueden influir en la exposición al mercurio de ciertas poblaciones, la mayoría de las personas están expuestas principalmente al metilmercurio por medio de los alimentos (especialmente el pescado) y a los vapores del mercurio elemental en la forma de amalgamas dentales y actividades laborales. En párrafos anteriores se explicó la toxicidad del metilmercurio. El vapor de mercurio elemental es también tóxico para el sistema nervioso y otros órganos. Mientras que el metilmercurio es el principal motivo de preocupación para la población en general, también preocupan las exposiciones a elevadas concentraciones de mercurio elemental.

19. Se han medido niveles elevados de metilmercurio en numerosas especies de peces marinos y de agua dulce de todo el mundo. Se encuentran niveles elevados en los peces depredadores de gran tamaño y en mamíferos que consumen peces. Los estudios de la exposición en diferentes zonas geográficas indican que una proporción importante de seres humanos y vida silvestre de todo el mundo está expuesta a niveles de metilmercurio que son motivo de preocupación, principalmente por el consumo de pescado contaminado.

20. Según el grado de contaminación local con mercurio, la ingesta total de mercurio por el agua y el aire puede aportar otras cantidades sustanciales. Además, el empleo de cremas y jabones para aclarar la piel, el uso del mercurio con ciertos fines religiosos, culturales y rituales, su uso en algunas medicinas tradicionales y el mercurio en los hogares y en el ambiente de trabajo pueden dar lugar a aumentos sustanciales de la exposición humana. Se producen también exposiciones por el uso de vacunas y otros productos farmacéuticos que contienen preservantes de mercurio (como el timerosal o el tiomersal).

21. Se han notificado niveles elevados de mercurio elemental en el entorno de trabajo de plantas de cloro-alkali, minas de mercurio, fábricas de termómetros, refinерías, clínicas dentales y la minería y procesamiento de oro y plata extraídos con mercurio. Los efectos relativos de la contaminación local (como en las minas clausuradas), la exposición ocupacional y las tradiciones locales pueden variar considerablemente de un país a otro y se sabe que son importantes en algunas zonas.

22. Numerosas especies de animales silvestres con dietas basadas principalmente en el pescado pueden tener niveles de mercurio elevados que aumentan el riesgo de los efectos adversos. Entre los animales con niveles de mercurio más altos figuran, entre otros, la nutria, el visón, las aves de rapiña, las águilas y el martín pescador, que son los depredadores que se encuentran en el nivel superior de la cadena alimentaria acuática. Por ejemplo, los huevos de ciertas especies de aves canadienses presentan niveles de mercurio que amenazan la reproducción. Además, los niveles de mercurio en la foca anillada y la ballena blanca del Ártico han aumentado de dos a cuatro veces en los últimos 25 años en algunas zonas de Groenlandia y el Ártico canadiense. En aguas más cálidas, algunos mamíferos marinos predadores también están expuestos a riesgos. Además, estudios recientes indican que hay suelos adversamente afectados en grandes partes de Europa y posiblemente en muchos otros lugares. En algunos medios, sin embargo, ni siquiera las cargas de mercurio relativamente altas surten efectos perceptibles en los organismos, ya que bien no se ha producido una bioacumulación efectiva de mercurio en la cadena alimentaria local o su metilación no resulta fácil. Por otra parte, en ciertos lugares, es posible que los efectos de las prácticas de ordenación de las cuencas hidrográficas en los niveles de metilmercurio sean más importantes que las aportaciones directas o difusas de mercurio.

## ¿CUÁLES SON LAS PRINCIPALES FUENTES DE LIBERACIONES DE MERCURIO ?

23. Las emisiones de mercurio se pueden agrupar en cuatro categorías:

- Fuentes naturales: liberaciones debidas a la movilización natural del mercurio tal como se encuentra en la corteza terrestre, como la actividad volcánica o la erosión en las rocas;
- Las actuales liberaciones antropógenas (asociadas con la actividad humana) resultantes de la movilización de impurezas de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles -en particular el carbón, y en menor medida el gas y el petróleo- y otros minerales extraídos, tratados y reciclados;

- Las actuales liberaciones antropógenas resultantes del uso intencional del mercurio en productos y procesos durante la fabricación, los derrames, la eliminación o incineración de productos agotados y liberaciones de otro tipo;
- La removilización de liberaciones antropógenas pasadas de mercurio anteriormente depositado en suelos, sedimentos, masas de agua, vertederos y acumulaciones de desechos o residuos.

24. Una gran parte del mercurio presente en estos momentos en la atmósfera es el resultado de muchos años de emisiones antropógenas. Es difícil de calcular el componente natural de la carga total en la atmósfera, aunque los datos disponibles parecen indicar que las actividades antropógenas han incrementado los niveles de mercurio en la atmósfera en un factor aproximado de tres, las tasas medias de sedimentación en un factor de 1,5 a 3 y la sedimentación en las proximidades de zonas industriales en un factor de 2 a 10.

25. El mercurio se sigue desprendiendo de los emplazamientos industriales muy contaminados y las operaciones mineras abandonadas. Además, las actividades de ordenación de las tierras, el agua y los recursos, como las prácticas silvícolas y agrícolas, y las inundaciones pueden aumentar la biodisponibilidad de mercurio. Los altos niveles de nutrientes y materias orgánicas en las masas de agua influyen en la metilación y la bioacumulación. Además, las inclemencias frecuentes del tiempo pueden contribuir a que el mercurio se desprenda durante las inundaciones o por erosión del suelo.

### **¿CUÁLES SON LAS FUENTES ANTROPÓGENAS ?**

26. En lo que se refiere a las liberaciones antropógenas, la proporción relativa de las liberaciones derivadas de usos intencionales por oposición a la movilización de impurezas de mercurio varía mucho de un país a otro y de una región a otra, en particular según el alcance de la sustitución de los usos intencionales (productos y procesos); la dependencia de los combustibles fósiles, en particular el carbón, para la producción de energía; la envergadura de las operaciones de la industria minera y de extracción de minerales; las prácticas de eliminación de desechos y el estado de la aplicación de tecnologías de control de contaminación. En los países en que se practica la minería del mercurio o se utiliza el mercurio para la minería en pequeña escala del oro o la plata, estas fuentes pueden ser muy importantes.

27. Algunos de los procesos antropógenos más importantes que movilizan impurezas de mercurio son la generación de energía y calor a partir del carbón; la producción de cemento; y la minería y otras actividades metalúrgicas que comprenden la extracción y procesamiento de materiales minerales, como la producción de hierro y acero, zinc y oro. Algunas fuentes importantes de liberaciones antropógenas que se producen a raíz de la extracción y el uso intencional del mercurio comprenden la minería del mercurio; la minería del oro y la plata en pequeña escala; la producción de cloro alcalino; el uso de lámparas fluorescentes, faros de automóviles, manómetros, termostatos, termómetros y otros instrumentos y su rotura accidental; las amalgamas dentales; la fabricación de productos que contienen mercurio; el tratamiento de desechos y la incineración de productos que contienen mercurio; los vertederos y la cremación.

### **¿CÓMO SE PUEDEN REDUCIR LAS LIBERACIONES?**

28. La reducción o eliminación de las liberaciones antropógenas de mercurio requiere el control de las liberaciones procedentes de materias primas y alimentos que contienen mercurio, así como la reducción o eliminación de usos del mercurio en productos y procesos. Los métodos concretos para controlar estas liberaciones de mercurio varían mucho y dependen de las condiciones del lugar, pero en general pueden agruparse en cuatro categorías:

- La reducción de la minería del mercurio y el consumo de materias primas y productos que generan liberaciones;
- La sustitución de productos y procesos que contienen o usan mercurio;
- El control de las liberaciones de mercurio mediante controles al final de proceso; y
- La gestión de los desechos de mercurio.

29. Las dos primeras son "medidas preventivas", es decir, previenen algunos usos o liberaciones de mercurio. Las dos últimas son "medidas de control", que reducen (o demoran) algunas liberaciones. Las medidas de prevención para reducir el consumo de materia primas y productos que generan liberaciones de mercurio son, por regla general, eficaces en función del costo y son los medios más viables de suprimir las emanaciones de mercurio. Además, la sustitución de esos productos y procesos por otros en los que no participa el mercurio es una medida de prevención importante.

30. El control de las liberaciones de mercurio mediante la utilización de técnicas de control de fin de ciclo, como el filtrado de las emanaciones de gas, puede ser especialmente apropiado para procesos que utilizan materias primas contaminadas con partículas de mercurio: centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles, la producción de cemento, la extracción y procesamiento de materia primas como el zinc, el oro y otros metales y la procesamiento de materia primas secundarias, como la chatarra de acero. Si bien en muchos países no se ha generalizado el uso de tecnologías de control que reducen el dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y materia particulada (MP) en las calderas y los incineradores alimentados con carbón, éstas proporcionan también cierta medida de control del mercurio. Se está desarrollando y poniendo a prueba una tecnología que proporcionará un mayor control del mercurio, pero no se está comercializando aún. A la larga, las tecnologías integradas de control de múltiples contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, MP y mercurio) pueden llegar a ser un método eficaz en función del costo. Las tecnologías de control de fin de ciclo, si bien mitigan el problema de la contaminación atmosférica con mercurio, siguen produciendo desechos de mercurio que son posibles fuentes de futuras liberaciones y deben ser eliminados o reutilizados de manera ambientalmente aceptable.

31. La gestión de los desechos de mercurio es cada vez más compleja a medida que se recoge más mercurio de una diversidad de fuentes, incluidos los productos del filtrado de gas, los sedimentos de la industria del cloro alcalino, las cenizas y los residuos minerales, así como los tubos fluorescentes, baterías y otros productos usados que con frecuencia no se reciclan. El costo de la eliminación aceptable de los desechos de mercurio en algunos países es tal que muchos productores están estudiando la posibilidad de utilizar otros productos que no contengan mercurio. La gestión adecuada de los desechos de mercurio es importante para reducir las liberaciones al medio ambiente, incluidas las que se producen por derrames (como la rotura de termómetros) o las que duran algún tiempo debido a las fugas (como las que se producen en los interruptores automáticos y las amalgamas dentales) o las emanaciones de la incineración de desechos y la cremación. Se necesita una combinación bien estudiada de medidas de prevención y medidas de control para optimizar la reducción de las liberaciones de mercurio.

32. Muchos países han adoptado medidas para limitar y prevenir usos, liberaciones y exposiciones, como las siguientes:

- Medidas y reglamentos para controlar las liberaciones de mercurio al medio ambiente;
- Medidas y reglamentos de control de la fabricación de productos que contienen mercurio;
- Normas de calidad ambiental, que especifican concentraciones máximas de mercurio aceptables para diferentes medios, como el agua potable, las aguas superficiales, el aire y el suelo, y los productos alimenticios como el pescado;
- Otras normas, medidas y programas, como los reglamentos relativos a las exposiciones al mercurio en el lugar de trabajo, la obligación de presentar informes, asesoramiento al público respecto del consumo de pescado y medidas de protección de los consumidores.

33. Aunque la legislación es un componente esencial de la mayoría de las iniciativas nacionales, hay otras actividades que permiten reducir el uso del mercurio, como el desarrollo y la introducción de alternativas seguras y tecnología menos contaminante, el uso de subvenciones e incentivos para alentar la utilización de sucedáneos, los acuerdos voluntarios con la industria y sensibilización.

34. La circulación del mercurio a grandes distancias y su persistencia en el medio ambiente han hecho que cierto número de países emprendiera medidas de carácter regional, subregional e internacional para determinar objetivos de reducción comunes y asegurar la aplicación coordinada entre los países.

## **¿CON QUÉ AUMENTAR NUESTROS CONOCIMIENTOS Y LA COORDINACIÓN INTERNACIONAL?**

35. Pese a la falta de determinados datos, las amplias investigaciones realizadas durante medio siglo han permitido acumular tantos conocimientos sobre el mercurio (incluidos su destino y transporte, sus efectos en la salud y el medio ambiente y la función que cumple la actividad humana), que no debe dejarse para después la adopción de medidas internacionales encaminadas a abordar el problema mundial que representa el mercurio. No obstante, sería conveniente seguir investigando y llevando a cabo otras actividades para aumentar nuestros conocimientos y mejorar la coordinación en algunos aspectos, a saber:

- Los inventarios nacionales sobre el uso, el consumo y las liberaciones ambientales;
- La información sobre el transporte, la transformación, la circulación y el destino del mercurio en diversas zonas específicas;
- La evaluación y vigilancia de los niveles de mercurio en diversos medios (como el aire y deposición del aire) y la biota (el pescado) y los efectos conexos en los seres humanos y la vida silvestre, incluidos los efectos de las exposiciones frecuentes a diferentes formas de mercurio;
- Los datos e instrumentos para la evaluación del riesgo humano y ecológico;
- Otras medidas para prevenir y reducir las liberaciones de diversas fuentes;
- La colaboración entre países que se ocupan de la gama de cuestiones científicas y técnicas, incluidas la gestión de los desechos de mercurio y remediación de sitios; y
- La información sobre el comercio y la transferencia mundiales de mercurio y materiales que contienen mercurio.

## Resumen del informe

### CAPÍTULO 1 – Introducción

36. El presente informe se ha preparado a instancias del Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) quien, por medio de su decisión GC 21/5, solicitó al PNUMA que emprendiese una evaluación mundial sobre el mercurio y sus compuestos, en cooperación con otros miembros del Programa Interorganismos para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas (IOMC), y que presentase dicha evaluación al Consejo de Administración en su 22º período de sesiones, en 2003. La evaluación debía incluir información de Gobiernos, organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales y el sector privado, y abarcar algunos aspectos particulares definidos en la decisión del Consejo de Administración. Estos aspectos han sido tratados, en la medida de lo posible, en los diversos capítulos del informe.

37. Como parte de la ejecución de la decisión 21/5 del Consejo de Administración, el PNUMA estableció un Grupo de Trabajo sobre la Evaluación Mundial del Mercurio para que colaborara en la redacción y conclusión del presente informe, mediante una primera ronda de comentarios por correo y, posteriormente, en una reunión del Grupo de Trabajo que se celebró del 9 al 13 de septiembre de 2002 en Ginebra, Suiza. La composición del Grupo de Trabajo fue abierta y quedó integrado por miembros designados por los gobiernos, organizaciones intergubernamentales y organizaciones no gubernamentales.

38. Este informe será remitido al Consejo de Administración para que lo analice durante su 22º período de sesiones, en febrero de 2003. Habiendo tomado la iniciativa de este informe de evaluación, el Consejo de Administración tendrá fundamentos más sólidos para determinar si se precisa alguna acción internacional con miras a promover la gestión ambientalmente racional del mercurio y sus compuestos. El informe ayudará a que los responsables de tomar decisiones adquieran una más plena comprensión y conciencia de los principales problemas relacionados con el mercurio y sus compuestos, con lo que se facilitará la discusión del tema en el próximo período de sesiones del Consejo de Administración.

### CAPÍTULO 2 – Química

39. El mercurio se da de manera natural en el medio ambiente y existe en una gran variedad de formas. Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura, se lo conoce como mercurio “elemental” o “metálico” (representado también como Hg(0) o Hg<sup>0</sup>). Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas. El mercurio puede enlazarse con otros compuestos como mercurio monovalente o divalente (representado como Hg(I) y Hg(II) o Hg<sup>2+</sup>, respectivamente). A partir del Hg(II) se pueden formar muchos compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio.

40. El mercurio elemental es un metal blanco plateado brillante, en estado líquido a temperatura ambiente, que normalmente se utiliza en termómetros y en algunos interruptores eléctricos. A temperatura ambiente, y si no está encapsulado, el mercurio metálico se evapora parcialmente, formando vapores de mercurio. Los vapores de mercurio son incoloros e inodoros. Cuanto más alta sea la temperatura, más vapores emanarán del mercurio metálico líquido. Algunas personas que han inhalado vapores de mercurio indican haber percibido un sabor metálico en la boca.

41. El mercurio se extrae como sulfuro de mercurio (mineral de cinabrio). A lo largo de la historia, los yacimientos de cinabrio han sido la fuente mineral para la extracción comercial de mercurio metálico. La forma metálica se refina a partir del mineral de sulfuro de mercurio calentando el mineral a temperaturas superiores a los 540° C. De esta manera se vaporiza el mercurio contenido en el mineral, y luego se captan y enfrían los vapores para formar el mercurio metálico líquido.

42. Algunos de los compuestos inorgánicos de mercurio son: sulfuro de mercurio (HgS), óxido de mercurio (HgO) y cloruro de mercurio (HgCl<sub>2</sub>). A estos compuestos también se les conoce como sales de mercurio. La mayoría de los compuestos inorgánicos de mercurio son polvos o cristales blancos, excepto el sulfuro de mercurio, que es rojo y se vuelve negro con la exposición a la luz. Algunas sales de mercurio (como el HgCl<sub>2</sub>) son lo bastante volátiles para existir como gas atmosférico. Sin embargo, la solubilidad en agua y reactividad química de estos gases inorgánicos (o divalentes) de mercurio hacen que su

deposición de la atmósfera sea mucho más rápida que la del mercurio elemental. Esto significa que la vida atmosférica de los gases de mercurio divalentes es mucho más corta que la del gas de mercurio elemental.

43. Cuando el mercurio se combina con carbono se forman compuestos conocidos como compuestos “orgánicos” de mercurio u organomercuriales. Existe una gran cantidad de compuestos orgánicos de mercurio (como el dimetilmercurio, fenilmercurio, etilmercurio y metilmercurio), pero el más conocido de todos es el metilmercurio. Al igual que los compuestos inorgánicos de mercurio, el metilmercurio y el fenilmercurio existen como “sales” (por ejemplo, cloruro de metilmercurio o acetato de fenilmercurio). Cuando son puros, casi todos los tipos de metilmercurio y fenilmercurio son sólidos blancos y cristalinos. En cambio, el dimetilmercurio es un líquido incoloro.

44. Varias formas de mercurio se dan de manera natural en el medio ambiente. Las formas naturales de mercurio más comunes en el medio ambiente son el mercurio metálico, sulfuro de mercurio, cloruro de mercurio y metilmercurio. Ciertos microorganismos y procesos naturales pueden hacer que el mercurio en el medio ambiente pase de una forma a otra.

45. El mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en formas inorgánicas de mercurio, lo que abre una significativa vía para la sedimentación de mercurio elemental emitido.

46. El compuesto orgánico de mercurio más común que generan los microorganismos y procesos naturales a partir de otras formas es el metilmercurio. El metilmercurio es particularmente inquietante porque puede acumularse (bioacumulación y biomagnificación) en muchos peces de agua dulce y salada comestibles, así como en mamíferos marinos comestibles, en concentraciones miles de veces mayores que las de las aguas circundantes.

47. El metilmercurio puede formarse en el medio ambiente por metabolismo microbico (procesos bióticos), por ejemplo, por efecto de ciertas bacterias, así como por procesos químicos que no implican a organismos vivos (procesos abióticos). Sin embargo, se suele considerar que su formación en la naturaleza se debe sobre todo a procesos bióticos. En la actualidad no se conocen fuentes antropógenas (generadas por seres humanos) directas de metilmercurio, aunque antiguamente las hubo. Sin embargo, y de forma indirecta, las liberaciones antropógenas contribuyen a los niveles de metilmercurio en el medio ambiente por su transformación a partir de otras formas. Un ejemplo de liberación directa de compuestos orgánicos de mercurio es el caso de envenenamiento por metilmercurio en Minamata en los años 1950, cuando se vertieron en esa bahía subproductos orgánicos de mercurio resultado de la producción industrial de acetaldehído. También se conocen casos de envenenamiento en Irak debido a que las semillas de trigo utilizado para preparar pan habían sido tratadas con recubrimiento fitosanitario a base de compuestos inorgánicos de mercurio. Hay, además, investigaciones recientes que demuestran que en los vertederos de desechos urbanos (Lindberg *et al.*, 2001) y las plantas de tratamiento de aguas residuales (Sommar *et al.*, 1999) pueden ocurrir liberaciones directas de metilmercurio, pero no se puede determinar todavía la importancia general de esta fuente.

48. Por tratarse de un elemento, el mercurio no se puede descomponer ni degradar en sustancias inofensivas. Durante su ciclo, el mercurio puede cambiar de estado y especie, pero su forma más simple es el mercurio elemental, de suyo nocivo para los seres humanos y el medio ambiente. Una vez liberado a partir de los minerales, o depósitos de combustibles fósiles y minerales yacientes en la corteza terrestre, y emitido a la biosfera, el mercurio puede tener una gran movilidad y circular entre la superficie terrestre y la atmósfera. Los suelos superficiales de la tierra, las aguas y los sedimentos de fondo se consideran los principales depósitos biosféricos de mercurio.

**En condiciones naturales, el mercurio se da en alguno de los siguientes estados:**

- Como vapor metálico y mercurio líquido/elemental;
- Unido a minerales que contienen mercurio (sólido);
- Como iones en solución o unido a compuestos iónicos (sales inorgánicas y orgánicas);
- Como complejos iónicos solubles;
- Como compuestos orgánicos no iónicos gaseosos o disueltos;
- Unido a partículas o materia orgánica o inorgánica mediante adsorción iónica, electrofílica o lipofílica.

**Importancia de la especiación del mercurio**

49. A las diversas formas de mercurio existentes (como vapor de mercurio elemental, metilmercurio o cloruro de mercurio) se las conoce como “especies”. Como se ha mencionado, los principales grupos de especies de mercurio son el mercurio elemental, y sus formas orgánicas e inorgánicas. La especiación es el término que se suele usar para representar la distribución de determinada cantidad de mercurio entre diversas especies.

50. La especiación desempeña un papel importante en la toxicidad y exposición al mercurio de organismos vivos. La especie influye, por ejemplo, en los siguientes aspectos:

- La disponibilidad física que determina la exposición –por ejemplo, si el mercurio está muy adherido a materiales absorbentes no puede pasar fácilmente al flujo sanguíneo;
- El transporte dentro del organismo hacia los tejidos en los que tiene efectos tóxicos –que pueda atravesar, por ejemplo, la membrana intestinal o la barrera hematoencefálica;
- Su toxicidad (debido, en parte, a lo que se mencionó anteriormente);
- Su acumulación, biomodificación, destoxificación en tejidos, así como su excreción;
- Su biomagnificación al ir subiendo de uno a otro nivel trófico de la cadena alimentaria (aspecto importante sobre todo en el caso del metilmercurio).

51. La especiación también incide en el transporte del mercurio dentro de cada compartimiento medioambiental y entre uno y otro, como la atmósfera y los océanos. Por ejemplo, la especiación es un factor determinante para la distancia que recorre el mercurio emitido en el aire desde su fuente de emisión. El mercurio adsorbido en partículas y compuestos de mercurio iónico (divalente) cae sobre todo en el suelo y el agua cercanos a las fuentes (distancias locales a regionales), mientras que el vapor de mercurio elemental se transporta a escala hemisférica/mundial, lo que hace de las emisiones de mercurio una preocupación de alcance mundial. Otro ejemplo es la llamada "incidencia de reducción del mercurio en el amanecer polar", cuando se presenta una transformación de mercurio elemental en mercurio divalente debido a una mayor actividad solar y a la presencia de cristales de hielo, con lo que se observa un incremento sustancial en la deposición del mercurio durante un periodo de tres meses (de marzo a junio, aproximadamente).

52. Además, la especiación es muy importante para la capacidad de controlar las emisiones de mercurio en el aire. Por ejemplo, algunos instrumentos de control (como depuradores húmedos) captan razonablemente bien las emisiones de compuestos inorgánicos de mercurio, pero la mayoría de este tipo de instrumentos capta poco mercurio elemental.

**CAPÍTULO 3 – Toxicología**

53. La toxicidad del mercurio depende de su forma química y, por lo tanto, los síntomas y signos varían según se trate de exposición al mercurio elemental, a los compuestos inorgánicos de mercurio, o a los compuestos orgánicos de mercurio (en particular los compuestos de alquilmércurio como sales de metilmercurio y etilmercurio, y el dimetilmercurio). Las fuentes de exposición también varían



notablemente de una a otra forma de mercurio. En cuanto a los compuestos de alquilvercurio, de los cuales el metilmercurio es, con mucho, el más importante, la fuente de exposición más significativa es la dieta, particularmente la dieta a base de pescados y mariscos. En el caso del vapor de mercurio elemental, la fuente más importante para la población en general son las amalgamas dentales, pero a veces la exposición en el ambiente de trabajo puede ser muchas veces mayor. En lo que respecta a compuestos inorgánicos de mercurio, los alimentos constituyen la fuente más importante para la mayoría de la gente. Sin embargo, para ciertos segmentos de la población, el uso de cremas y jabones a base de mercurio para aclarar la piel, y el uso de mercurio con propósitos culturales/rituales o en medicina tradicional, también puede conducir a la exposición a mercurio inorgánico o elemental.

54. Aunque es bien sabido que el mercurio y sus compuestos son sustancias sumamente tóxicas cuyos efectos potenciales deben ser detenidamente estudiados, el grado de toxicidad de estas sustancias, sobre todo la del metilmercurio, está actualmente en discusión. Las investigaciones de la última década muestran que los efectos tóxicos pueden generarse a concentraciones más bajas, y que podrían afectar a más población mundial de lo que se había pensado. Como los mecanismos de ciertos efectos tóxicos sutiles – y la demostración de su existencia – son cuestiones sumamente complejas, todavía no se ha llegado a comprender en su totalidad este problema.

### **Metilmercurio**

55. Entre los compuestos orgánicos de mercurio, el metilmercurio ocupa un lugar especial porque mucha población está expuesta a él, y sus efectos tóxicos están mejor caracterizados que los de otros compuestos orgánicos de mercurio. Se considera que, dentro del grupo de los compuestos orgánicos de mercurio, los compuestos de alquilvercurio (en particular, etilmercurio y metilmercurio) son similares en toxicidad (además, ambos han sido utilizados como plaguicidas). En cambio, otros compuestos orgánicos de mercurio, como el fenilmercurio, se asemejan más al mercurio inorgánico en sus efectos tóxicos.

56. El metilmercurio es un neurotóxico muy bien documentado, que puede provocar efectos perjudiciales particularmente en el cerebro en formación. Además, este compuesto traspasa con facilidad la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica; por eso es muy preocupante la exposición durante el embarazo. Asimismo, algunos estudios indican que incluso un pequeño aumento en la exposición al metilmercurio puede causar efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular y un incremento en la mortalidad. Considerando la importancia de las enfermedades cardiovasculares en todo el mundo, estos resultados, aunque no estén confirmados, sugieren que las exposiciones al metilmercurio requieren más atención y un seguimiento adicional. Además, basándose en su evaluación general, el Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (*International Agency for Research on Cancer*, IARC, 1993) considera que los compuestos de metilmercurio pueden ser carcinógenos para los seres humanos (grupo 2B).

### **Mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio**

57. La vía principal de exposición al mercurio elemental es por inhalación de sus vapores. Cerca del 80% de los vapores inhalados es absorbido por los tejidos pulmonares. Este vapor también penetra con facilidad la barrera de sangre del cerebro y su neurotoxicidad está bien documentada. La absorción intestinal de mercurio elemental es baja. El mercurio elemental puede oxidarse en los tejidos corporales a la forma divalente inorgánica.

58. Se han observado trastornos neurológicos y de comportamiento en seres humanos tras inhalación de vapor de mercurio elemental. Algunos de los síntomas son: temblores, labilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, cambios en el sistema neuromuscular y dolores de cabeza. Se han observado asimismo efectos en el riñón y la tiroides. Las exposiciones altas también han ocasionado mortalidad. En cuanto a carcinogenicidad, la evaluación general del IARC (1993) concluye que el mercurio metálico y los compuestos inorgánicos de mercurio no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad para los seres humanos (grupo 3). Por consiguiente, los efectos neurotóxicos, como la inducción de temblores, podrían constituir el efecto crítico que sirva de base para la evaluación de riesgos. También deberían considerarse los efectos en riñones (conducto renal), pues son el punto de destino crítico en lo que a exposición a compuestos inorgánicos de mercurio se refiere. Puede que el efecto sea reversible, pero como la exposición de la población general tiende a ser continua, el efecto puede seguir siendo relevante.

## Resumen de los niveles de efectos

59. Este capítulo describe brevemente los diferentes efectos adversos que el mercurio elemental, sus compuestos inorgánicos y el metilmercurio tienen en la salud humana. Para poner en perspectiva el nivel de exposiciones al metilmercurio, la dosis de referencia (DdR) estimada por el Consejo Nacional de Investigación (National Research Council, NRC, 2000) de los Estados Unidos para el efecto perjudicial más comúnmente aceptado como no letal (efectos en el desarrollo neuronal) es de 58 microgramos por litro (mg/l) de mercurio total en sangre del cordón umbilical (o de 10 microgramos por gramo (mg/g) de mercurio total en el pelo de la madre), según datos del estudio de las Islas Faroe sobre exposiciones de seres humanos al mercurio (Grandjean *et al.*, 1997). Este valor de DdR es el límite inferior de confianza, de 95%, para el nivel de exposición que hace que se duplique una prevalencia de 5% en la disfunción neurológica (retrasos en el desarrollo de la atención, memoria verbal y lenguaje) en niños expuestos in-utero según el estudio de las Islas Faroe. Éstos son los niveles en tejidos que se estimaron a partir de una ingesta diaria promedio de aproximadamente 1 mg de metilmercurio por kilogramo de peso corporal al día (1 mg/kg de peso corporal por día).

60. Se han detectado otros efectos perjudiciales en seres humanos, pero con menos fiabilidad o a exposiciones mucho mayores. En cuanto al metilmercurio, se han observado efectos en el sistema nervioso adulto, enfermedades cardiovasculares, en la incidencia de cáncer y en la genotoxicidad. Además, se han detectado efectos en la variabilidad del ritmo cardíaco y en la presión sanguínea en niños de siete años de edad con exposición prenatal así como en la mortalidad cardiovascular en adultos. En el caso del mercurio elemental y los compuestos inorgánicos de mercurio, se han observado los siguientes efectos: en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, enzimas asociadas con el funcionamiento de la tiroides, en los índices de abortos espontáneos, genotoxicidad, sistema respiratorio, sistema (digestivo) gastrointestinal, hígado, sistema inmunológico y la piel. En el capítulo 4 se examinan varias evaluaciones detalladas que se han hecho de la respuesta como función de la exposición. Como este informe sólo presenta un resumen de la toxicidad del mercurio, los estudios en que se basó la presentación no se han revisado en las referencias originales para citarlos correctamente en la preparación de este informe.

## Consideraciones relativas a la alimentación

61. En muchas partes del mundo, el pescado es un elemento importantísimo de la dieta humana, y proporciona nutrientes (proteínas y ácidos grasos omega-3, entre otros) difícilmente sustituibles. El mercurio representa una amenaza importante para esta alimentación. Ciertamente, en igualdad de demás factores, el pescado con niveles bajos de metilmercurio es intrínsecamente más saludable para los consumidores que el pescado con niveles más altos de metilmercurio.

62. Hay escasas pruebas de laboratorio que sugieren que algunos componentes dietarios pueden reducir (por ej., selenio, vitamina E, ácidos grasos omega-3) o incrementar (por ej., alcohol) la toxicidad del mercurio para algunos puntos de destino. Sin embargo, por ahora no se pueden extraer conclusiones de los datos existentes.

## CAPÍTULO 4 – Exposición actual al mercurio y evaluaciones del riesgo para la salud humana

63. Como ya se ha mencionado, la población general está expuesta al metilmercurio principalmente por la dieta (en particular de pescado), y a los vapores de mercurio elemental por las amalgamas dentales. Puede haber otras contribuciones considerables a la ingesta de mercurio total vía aire y agua, según la carga local de contaminación por mercurio. Asimismo, el uso personal de cremas y jabones para aclarar la piel, el uso del mercurio para usos religiosos, culturales y rituales, la presencia de mercurio en algunos medicamentos tradicionales (por ejemplo en algunos remedios tradicionales de Asia) y el mercurio en hogares y lugares de trabajo pueden aumentar sustancialmente la exposición humana. Por ejemplo, ha habido incrementos en los niveles de mercurio en el aire de los hogares por filtraciones de mercurio de medidores de gas viejos, así como otros derrames. Además, se han observado niveles elevados de mercurio en ambientes de trabajo como, por ejemplo, en plantas de cloro-álcali, minas de mercurio, fábricas de termómetros, refinerías y clínicas dentales (WHO/IPCS, 1991), así como en la minería y elaboración de oro extraído con mercurio. Otras exposiciones son ocasionadas por el uso de timerosal/tiomersal (tiosalicilato de etilmercurio) como conservador en algunas vacunas y otros productos farmacéuticos. Hoy en día, los impactos del mercurio relacionados con la contaminación local, la

exposición en el trabajo, ciertas prácticas culturales y rituales y algunos medicamentos tradicionales pueden variar considerablemente de uno a otro país o región, y son notables en algunas regiones.

64. En el capítulo se ilustran las exposiciones al mercurio total y al metilmercurio, principalmente por dieta a base de pescado, pero también por otras fuentes, con datos de diversas partes del mundo: Suecia, Finlandia, Estados Unidos de Norteamérica, el Ártico, Japón, China, Indonesia, Papua Nueva Guinea, Tailandia, República de Corea, Filipinas, la cuenca del Amazonas y Guayana Francesa. Por ejemplo, en Estados Unidos, en un estudio de un grupo representativo de aproximadamente 1.700 mujeres (de 16 a 49 años), para los años 1999-2000, cerca del 8% de las mujeres tenía concentraciones de mercurio en sangre y pelo que rebasaban los niveles de la dosis de referencia de la *US EPA* (una estimación de dosis inocua, véase la sección 4.2.1). Como se muestra en el capítulo, los datos indican que, por lo regular, en Groenlandia, Japón y otras regiones las exposiciones son más elevadas que en los Estados Unidos. Existen otros ejemplos de exposición de seres humanos, que se han presentado para usarlos en el presente informe. Lamentablemente no es posible darlos todos aquí.

65. En algunos de estos países y regiones, las deposiciones locales y regionales de mercurio han incidido durante años en los niveles de contaminación por mercurio, y durante las últimas décadas se han tomado medidas para reducir las emisiones nacionales. Sin embargo, las emisiones de mercurio se propagan a largas distancias, en la atmósfera y los océanos, lo que significa que incluso países con emisiones mínimas de mercurio y áreas alejadas de la intensa actividad humana pueden verse afectados. Por ejemplo, en las regiones árticas, tan alejadas de las fuentes importantes, se ha observado una exposición elevada al mercurio.

66. Algunos países y organismos internacionales han presentado datos sobre concentraciones de mercurio en peces. Además, en las publicaciones científicas se mencionan muchas investigaciones sobre niveles de mercurio en peces. La tabla 4.5 contiene un resumen de los datos presentados que ofrecen ejemplos de concentraciones de mercurio en peces de diversos lugares del mundo. Las concentraciones de mercurio en varias especies de peces van de 0,05 a 1,4 miligramos de mercurio por kilogramo de tejido de pez (mg/kg), dependiendo de factores como el pH y el potencial redox del agua, así como de la especie, edad y tamaño del pez. Como el mercurio se biomagnifica en la cadena alimentaria acuática, los peces que se encuentran más arriba de la cadena alimentaria (en un nivel trófico superior) suelen tener niveles mayores de mercurio. Por eso, los peces depredadores más grandes, como la caballa gigante (carite lucio), lucio, tiburón, pez espada, lucioperca americana, barracuda, atún grande (que hay que distinguirlo del atún pequeño que se utiliza para conserva), sable negro y marlín, así como las focas y ballenas dentadas, contienen las concentraciones más altas. Los datos existentes indican que el mercurio está presente en todo el mundo (especialmente en peces) en concentraciones perjudiciales para los seres humanos y la flora y fauna silvestres. Tales niveles han ocasionado que en algunos países se formulen recomendaciones sobre el consumo de pescado y, en algunos casos, de mamíferos marinos, para que la población, sobre todo los subgrupos vulnerables (como mujeres embarazadas y niños pequeños) reduzca o evite el consumo de ciertos tipos de pescado provenientes de distintas aguas. No es probable que el consumo moderado de pescado (con niveles bajos de mercurio) ocasione exposiciones de consideración. En cambio, la población que consume grandes cantidades de pescados o mamíferos marinos contaminados puede quedar muy expuesta al mercurio y, por consiguiente, se encuentra en riesgo.

## **CAPÍTULO 5 – Efectos del mercurio en el medio ambiente**

### **Acumulación de mercurio en las redes alimentarias**

67. Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimentaria. Hasta cierto punto, todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilmercurio se absorbe y acumula más que otras formas. El mercurio inorgánico también puede ser absorbido pero por lo general en menores cantidades y con menor eficiencia que el metilmercurio (*US EPA*, 1997). La biomagnificación del mercurio es lo que más incide en los efectos para animales y seres humanos. Al parecer, los peces adhieren con fuerza el metilmercurio; casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores es metilmercurio. La mayor parte del metilmercurio en tejidos de peces forma enlaces covalentes con grupos sulfhidrilo proteínico, con lo que la vida media de eliminación resulta larga (aproximadamente de dos años) (*Wiener y Stry*, 1996). Como consecuencia, se genera un enriquecimiento selectivo de metilmercurio (en

comparación con el mercurio inorgánico) cuando se pasa de un nivel trófico al siguiente nivel trófico superior.

#### **Bioacumulación y biomagnificación**

El término **bioacumulación** significa la acumulación neta en un organismo de metales provenientes de fuentes bióticas (otros organismos) o abióticas (suelo, aire y agua).

El término **biomagnificación** significa la acumulación progresiva de ciertos metales pesados (y otras sustancias persistentes) de uno a otro nivel trófico sucesivo. Está relacionada con el coeficiente de concentración en los tejidos de un organismo depredador en comparación con el de su presa (AMAP, 1998).

68. En comparación con otros compuestos de mercurio, la eliminación del metilmercurio en peces es muy lenta (US EPA). En concentraciones ambientales constantes, las concentraciones de mercurio en peces de determinada especie tienden a aumentar con la edad, como consecuencia de la lenta eliminación del metilmercurio y una mayor ingesta debido a los desplazamientos en los niveles tróficos que suele haber a medida que el pez va creciendo (come cada vez más peces, y las presas son más grandes). Por eso, es común que los peces más viejos tengan en sus tejidos concentraciones de mercurio más altas que los peces más jóvenes de la misma especie.

69. Las concentraciones más bajas de mercurio se encuentran en peces pequeños no depredadores y pueden aumentar varias veces conforme se asciende en la cadena alimentaria. Además de la concentración en alimentos, existen otros factores que inciden en la bioacumulación del mercurio. Son de capital importancia los índices de metilación y desmetilación (véase la sección 2.3) por efecto de las bacterias metiladoras de mercurio (por ejemplo, reductores de sulfato). Cuando todos estos factores se combinan, el índice de metilación neta puede influir mucho en la cantidad de metilmercurio que se produce y que puede ser acumulado y retenido por organismos acuáticos. Como se describe en la sección 2.3, varios parámetros del entorno acuático inciden en la metilación del mercurio y, por ende, en su biomagnificación. Aunque en general se sabe mucho sobre la bioacumulación y biomagnificación del mercurio, se trata de un proceso muy complejo en el que participan ciclos biogeoquímicos e interacciones ecológicas complicadas. Por consiguiente, aunque pueda observarse la acumulación/ biomagnificación, no es fácil predecir el grado de biomagnificación del mercurio en peces de diferentes sitios.

70. En los niveles superiores de la cadena alimentaria acuática se encuentran las especies piscívoras, como los seres humanos, aves marinas, focas y nutrias. Las especies silvestres más grandes (como águilas y focas) se alimentan de peces que también son depredadores, como la trucha y salmón, mientras que las especies piscívoras más pequeñas (como el martín pescador) tienden a alimentarse de peces forraje más pequeños. En Wisconsin, en un estudio sobre animales de pelaje, las especies con el nivel de mercurio más alto en tejidos resultaron ser la nutria y el visón, depredadores mamíferos del nivel superior de la cadena alimentaria acuática. Entre las aves depredadoras del nivel superior de la cadena alimentaria acuática están las aves de rapiña como el águila pescadora y el águila cabeza blanca (US EPA, 1997). Así, pues, el mercurio se transfiere y acumula de uno a otro nivel de la cadena alimentaria (US EPA, 1997). Las cadenas alimentarias acuáticas suelen tener más niveles que las terrestres, en las que los depredadores de especies silvestres rara vez se alimentan unos de otros y, por lo tanto, la biomagnificación acuática generalmente alcanza valores mayores.

#### **Compuestos de mercurio tóxicos para la vida silvestre**

71. El metilmercurio es una toxina que ataca el sistema nervioso central, y los riñones son los órganos más vulnerables ante el mercurio inorgánico. En el conocido caso de Minamata, Japón, ya se observaban efectos neurológicos graves en animales antes de haber reconocido el envenenamiento de personas: las aves experimentaban muchas dificultades para volar, y presentaban otras conductas muy anormales. También se atribuyen al mercurio efectos significativos en la reproducción, y el metilmercurio representa un riesgo especial para los fetos en desarrollo pues penetra con facilidad la barrera placentaria y puede dañar el sistema nervioso en desarrollo.

72. En las aves, los efectos perjudiciales del mercurio en la reproducción pueden darse incluso en concentraciones que no pasan de 0,05 a 2,0 mg/kg (peso húmedo) en huevos. Los huevos de ciertas especies canadienses ya se encuentran dentro de este registro, y hay concentraciones en los huevos de otras especies canadienses que siguen aumentando y se acercan a estos niveles.

73. Durante los últimos 25 años se han duplicado e incluso cuadruplicado los niveles de mercurio en focas anilladas y belugas de algunas áreas del Ártico canadiense y Groenlandia. En aguas más cálidas los mamíferos marinos depredadores también pueden estar en riesgo. Un estudio de la población de delfines jorobados en Hong Kong determinó que el mercurio es un peligro particular para la salud, más que otros metales pesados.

### **Ecosistemas vulnerables**

74. Hay estudios recientes que sugieren que el mercurio ocasiona una reducción de la actividad microbiológica vital para la cadena alimentaria terrestre en suelos de grandes partes de Europa –y posiblemente de muchos otros lugares del mundo con características edafológicas similares. A fin de prevenir los efectos ecológicos del mercurio en suelos orgánicos se han establecido límites críticos preliminares de 0,07-0,3 mg/kg de contenido de mercurio total en el suelo (Pirrone *et al.*, 2001).

75. En el ámbito mundial, la región del Ártico ha atraído recientemente la atención debido al transporte a largas distancias del mercurio. Sin embargo, los efectos del mercurio no son en absoluto exclusivos de la región ártica. Las mismas características en la cadena alimentaria -así como una dependencia similar de una fuente de alimentación contaminada por mercurio- se observan en ciertos ecosistemas y comunidades humanas de muchas partes del mundo, sobre todo en lugares en los que el pescado es fuente principal de alimentación.

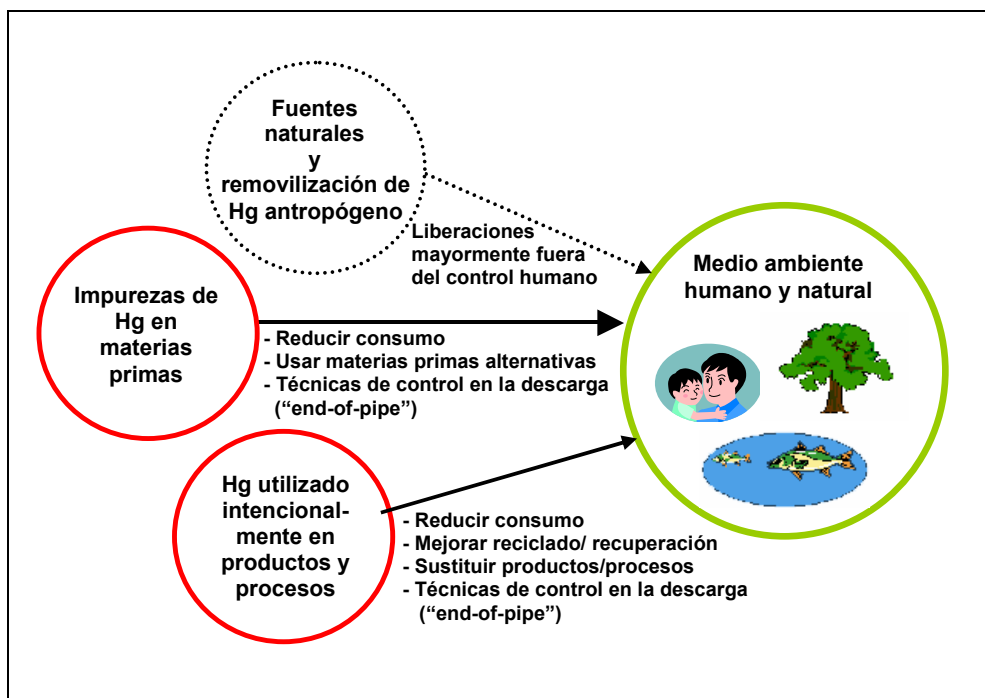
76. El aumento en los niveles de agua asociados con el cambio climático mundial también podría tener efectos en la metilación del mercurio y su acumulación en peces. Por ejemplo, existen indicios de una mayor formación de metilmercurio en lagos pequeños y cálidos y en muchas áreas recién inundadas.

### **CAPÍTULO 6 – Fuentes y circulación del mercurio en el medio ambiente mundial**

77. Las liberaciones de mercurio en la biosfera pueden agruparse en cuatro categorías:

- Fuentes naturales – liberaciones originadas por la movilización natural del mercurio generado de forma natural en la corteza terrestre, por actividad volcánica o por erosión de las rocas;
- Liberaciones antropógenas (asociadas con la actividad humana) actuales debidas a la movilización de impurezas de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles –en particular carbón y, en menor grado, el gas y el petróleo– y otros minerales extraídos, tratados y reciclados;
- Liberaciones antropógenas actuales generadas por el mercurio utilizado intencionalmente en productos y procesos, causadas por liberaciones durante la producción, fugas, eliminación o incineración de productos de desecho u otras liberaciones;
- Removilización de liberaciones antropógenas pasadas depositadas en suelos, sedimentos, aguas, vertederos y pilas de desechos/residuos.

78. La figura muestra estas categorías de liberaciones con los principales tipos de posibles mecanismos de control.



79. Los receptores de las liberaciones de mercurio en el medio ambiente son la atmósfera, el agua (medios acuáticos), y los suelos (medios terrestres). Existen interacciones constantes - flujos de mercurio - entre estos compartimentos medioambientales. La especiación - forma química - del mercurio liberado varía según los tipos de fuente y otros factores, lo que influye también en las repercusiones en la salud de seres humanos y el medio ambiente puesto que la toxicidad varía según las especies de mercurio.

80. Por lo que sabemos del ciclo global del mercurio, las liberaciones actuales se agregan al fondo global de mercurio en la biosfera - mercurio en constante movilización, depositado en superficies terrestres y acuáticas y removilizado. Siendo un elemento, el mercurio es persistente - no puede descomponerse en sustancias menos tóxicas en el medio ambiente. Los únicos depósitos de largo plazo para eliminación del mercurio de la biosfera son los sedimentos del fondo del mar y, hasta cierto punto, los vertederos controlados, cuando el mercurio está fisicoquímicamente inmovilizado y permanece sin alteración frente a la actividad antropógena o natural (climática y geológica). Esto también significa que, aunque las liberaciones antropógenas de mercurio se vayan eliminando, la reducción de algunas concentraciones de mercurio - y las correspondientes mejoras ambientales - no será sino muy lenta, seguramente de varias décadas. Sin embargo, puede haber mejoras más rápidas en lugares determinados o en regiones afectadas sobre todo por fuentes locales o regionales.

#### **Liberaciones locales – efectos mundiales**

81. Los orígenes de la deposición atmosférica de mercurio (flujo de mercurio de la atmósfera a la tierra y los océanos) son locales y regionales así como hemisféricos o mundiales. Varios estudios significativos confirman la conclusión de que, además de las fuentes locales (plantas de cloro-álcali, combustión de carbón e incineración de desechos), la concentración de fondo de mercurio en la atmósfera global contribuye enormemente a la carga de mercurio en la mayor parte de las regiones. Asimismo, prácticamente cualquier fuente local contribuye a la concentración de fondo -depósito global de mercurio en la biosfera - que está constituida principalmente por liberaciones antropógenas acumuladas durante décadas. Las corrientes oceánicas también son vías de transporte del mercurio a largas distancias, y los océanos son importantes depósitos dinámicos de mercurio en el ciclo global.

82. La mayoría de las liberaciones antropógenas atmosféricas son emitidas como mercurio elemental gaseoso, que puede desplazarse a largas distancias con las masas de aire. El resto de las emisiones atmosféricas son compuestos divalentes gaseosos (por ejemplo  $\text{HgCl}_2$ ) o están unidos a partículas presentes en el gas de emisión. Estas especies tienen una vida atmosférica más corta que la del vapor

elemental y se depositarán por procesos húmedos o secos en un radio de 100 a 1000 kilómetros. No obstante, durante el transporte atmosférico puede darse mucha actividad de conversión entre especies de mercurio, lo que determinará la distancia de su desplazamiento.

83. El tiempo de permanencia del mercurio elemental en la atmósfera puede ser de unos meses hasta aproximadamente un año. Esto permite el transporte a escala hemisférica y, por eso, las emisiones en determinado continente pueden contribuir a la deposición en otros continentes. Por ejemplo, según la modelación del transporte intercontinental del mercurio realizada por EMEP/MSC-E (Travnikov y Ryaboshapko, 2002), hasta 50% del mercurio antropógeno depositado en América del Norte proviene de fuentes externas. Asimismo, se ha calculado que las contribuciones de fuentes externas a las deposiciones de mercurio antropógeno en Europa y Asia son de aproximadamente 20% y 15%, respectivamente.

84. Además, y como ya se ha mencionado, las fuentes acuáticas y terrestres pueden reemitir mercurio. Este proceso amplía enormemente el tiempo general de permanencia del mercurio en el medio ambiente. Las investigaciones recientes de Lindberg *et al.* (2001) muestran índices de reemisión de aproximadamente 20% durante un periodo de dos años, según mediciones de isótopos estables de mercurio en el noroeste de Ontario, Canadá.

### **Fuentes antropógenas de liberaciones de mercurio**

85. Una gran parte del mercurio que ahora está presente en la atmósfera es producto de muchos años de liberaciones provenientes de actividades antropógenas. Es difícil estimar el componente natural de la carga total atmosférica, pero un estudio reciente (Munthe *et al.*, 2001) sugiere que las actividades antropógenas han multiplicado los niveles generales de mercurio en la atmósfera aproximadamente por un factor de 3.

86. Aunque algunas emisiones naturales de mercurio provienen de la corteza terrestre, las fuentes antropógenas son las que más mercurio contribuyen a la atmósfera, el agua y el suelo.

#### **Ejemplos de fuentes importantes de liberaciones antropógenas de mercurio**

##### **Liberaciones por la movilización de impurezas de mercurio:**

- Producción de energía y calor alimentada por carbón (la fuente más grande de emisiones atmosféricas)
- Producción de energía a base de otros combustibles fósiles de carbón
- Producción de cemento (mercurio en cal)
- Minería y otras actividades metalúrgicas que comprenden la extracción y elaboración de materiales minerales vírgenes y reciclados, por ejemplo, la producción de:
  - hierro y acero
  - ferromanganeso
  - zinc
  - oro
  - otros metales no ferrosos

##### **Liberaciones de la extracción y el uso intencional del mercurio:**

- Minería del mercurio
- Minería del oro y la plata en pequeña escala (proceso de amalgamación)
- Producción cloroalcalina
- Uso de lámparas fluorescentes, diversos instrumentos y amalgamas dentales
- Fabricación de productos que contienen mercurio, por ejemplo:
  - termómetros
  - manómetros y otros instrumentos
  - interruptores eléctricos y electrónicos

##### **Liberaciones del tratamiento de desechos, cremaciones, etc. (provenientes tanto de impurezas como de usos intencionales del mercurio):**

- Incineración de desechos (municipales, médicos y peligrosos)
- Vertederos de basuras
- Cremaciones
- Cementerios (liberaciones al suelo)

87. Existen considerables incertidumbres en los inventarios de liberaciones existentes, no sólo por fuentes sino por país. En la tabla se presentan las mejores estimaciones existentes sobre emisiones de mercurio en la atmósfera que provienen de diversas fuentes.

*Tabla Estimaciones de liberaciones atmosféricas globales de mercurio emitidas por distintas fuentes antropógenas importantes en 1995 (toneladas métricas/año). No se consideran las liberaciones a otros medios. \*1.*

Continentes	Combustión estacionaria	Producción de metales no ferrosos *5	Producción de hierro y acero en lingotes	Producción de cemento	Eliminación de desechos *2	Extracción artesanal de oro *4	Suma, fuentes contabilizadas *3
Europa	186	15	10	26	12		250
África	197	7.9	0.5	5.2			210
Asia	<b>860</b>	<b>87</b>	<b>12</b>	<b>82</b>	33		1070
América del Norte	105	25	4.6	13	<b>66</b>		210
América del Sur	27	25	1.4	5.5			60
Australia y Oceanía	100	4.4	0.3	0.8	0.1		100
Suma, fuentes contabilizadas, 1995 *3,4	1470	170	30	130	110	300	1900 +300
Referencias:	Pirrone <i>et al.</i> , (2001)	Pirrone <i>et al.</i> , (2001)	Pirrone <i>et al.</i> , (2001)	Pirrone <i>et al.</i> , (2001)	Pirrone <i>et al.</i> , (2001)	Lacerda (1997)	

- 1 En esta tabla no se incluyen liberaciones en medios acuáticos y terrestres –ni liberaciones atmosféricas de algunas otras fuentes- porque no existen estimaciones globales recientes. Ver en el Capítulo 6 una explicación de este tema.
- 2 Los autores del inventario consideran que estos valores están subestimados. Ver notas de la tabla 6.10.
- 3 Representa el total de las fuentes mencionadas en esta tabla y no todas las fuentes conocidas. Las cantidades han sido redondeadas y, por eso, puede que las sumas no cuadren con exactitud.
- 4 Las emisiones estimadas de la extracción artesanal del oro se refieren a la situación de finales de los años 1980 a principios de los años 1990. Una referencia más reciente (MMSD, 2002) indica que el consumo de mercurio relacionado con la extracción artesanal del oro –y por lo tanto muy probablemente también las liberaciones de mercurio- pueden ser incluso superior al que aquí se presenta.
- 5 Producción de metales no ferrosos, como mercurio, zinc, oro, plomo, cobre, níquel, que liberan mercurio.

88. Las emisiones de la combustión estacionaria de combustibles fósiles (sobre todo de carbón) y la incineración de materiales de desecho constituyen aproximadamente 70% de las emisiones atmosféricas totales contabilizadas de fuentes antropógenas importantes. Como el uso de combustibles fósiles está incrementando para poder satisfacer la creciente demanda de energía tanto de países desarrollados como en desarrollo, cabe esperar que las emisiones de mercurio aumenten, no habiendo las tecnologías de control ni fuentes energéticas sustitutas. Se han desarrollado tecnologías de control para las centrales y las incineradoras de desechos que operan a base de carbón con el propósito primordial de atacar las sustancias acidificantes (principalmente SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>), y materia particulada (MP). Estas tecnologías existentes pueden proporcionar cierto control de mercurio pero, desde una perspectiva mundial, por ahora no logran sino una pequeña reducción de mercurio de tales fuentes. Muchas tecnologías de control son considerablemente menos efectivas en la reducción de emisiones de mercurio elemental en relación con las otras formas. Se están desarrollando y poniendo a prueba mejores tecnologías para el control del mercurio, pero todavía no son comerciales.

89. Se considera que las estimaciones globales existentes sobre emisiones atmosféricas de la incineración de desechos así como otras liberaciones generadas por los usos intencionales del mercurio en procesos y productos están subestimadas y que, hasta cierto punto, son incompletas. No obstante, durante las últimas dos décadas, la producción registrada de mercurio virgen ha pasado de unas 6000 a 2000 toneladas métricas por año y, por consiguiente, puede que también se estén reduciendo las liberaciones correspondientes a la extracción y el uso de mercurio.



90. Gracias a los esfuerzos de reducción, en América y Europa se han reducido las emisiones antropógenas de algunas fuentes importantes. Además, en algunos países desarrollados se han reducido las emisiones antropógenas totales en el aire durante la última década. Por ejemplo, en Canadá las emisiones se redujeron de 33 a 6 toneladas métricas entre 1990 y 2000 (comentarios de Canadá, comm-20-gov; presentación de Canadá, sub42gov).

#### **Fuentes naturales de liberación de mercurio**

91. Algunas de las fuentes naturales son los volcanes, la evaporación de superficies terrestres y acuáticas, la degradación de minerales y los incendios forestales. Las emisiones naturales de mercurio están fuera de nuestro control y deben considerarse como parte de nuestro entorno vital a escala local y mundial. Con todo, es necesario no perder de vista estas fuentes, pues contribuyen a los niveles ambientales de mercurio. En algunas partes del mundo las concentraciones de mercurio en la corteza terrestre se elevan de manera natural, y contribuyen a elevar las concentraciones locales y regionales de mercurio en esas áreas.

92. Las emisiones actuales de mercurio de superficies terrestres y acuáticas se componen de fuentes naturales y de la reemisión de deposiciones anteriores de mercurio tanto de fuentes antropógenas como naturales. Esto dificulta la estimación de las emisiones naturales de mercurio reales. Para las estimaciones mundiales de emisiones naturales, véase la sección 6.3.6.

93. Las estimaciones de las emisiones de mercurio naturales en comparación con las antropógenas que se han publicado muestran una variación importante, aunque los estudios más recientes han subrayado la importancia de las contribuciones de la actividad humana (véase, por ejemplo, Fitzgerald *et al.* (1998), Jackson (1997) y Lamborg *et al.*, 2002)). Se están realizando esfuerzos para medir directamente las emisiones naturales (véase, por ejemplo, Coolbaugh *et al.*, 2002). Sea como fuere, la información existente indica que las fuentes naturales representan menos del 50% de las liberaciones totales.

94. En general, en todo el planeta hay indicios de que las emisiones antropógenas de mercurio han generado índices de deposición actuales entre 1,5 y 3 veces mayores a los existentes en la época preindustrial. Dentro de las áreas industriales y en sus inmediaciones los índices de deposición han aumentado de 2 a 10 veces durante los últimos 200 años (Lindquist *et al.*, 1984; Bergan *et al.*, 1999; véase asimismo la sección 6.4 sobre las trayectorias del mercurio).

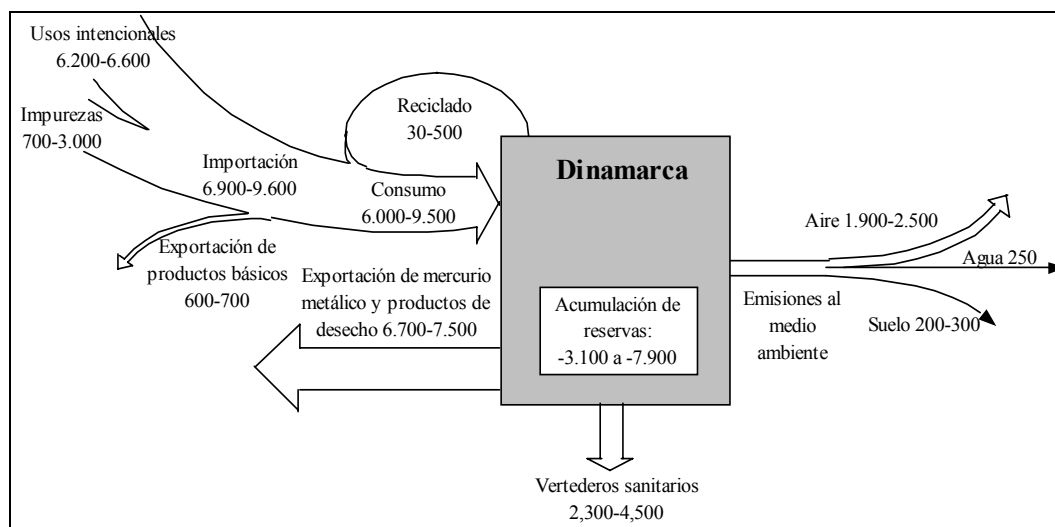
#### **La importancia de los usos intencionales en comparación con las impurezas en materiales de gran volumen**

95. Respecto a las liberaciones antropógenas, la importancia relativa de los usos intencionales en comparación con la movilización de impurezas de mercurio varía según el país o la región, y sobre todo por los siguientes factores:

- Grado de sustitución de usos intencionales (productos y procesos);
- Dependencia de los combustibles fósiles, sobre todo del carbón, para la generación de energía, y existencia de controles para otros contaminantes, que también reducen las emisiones de mercurio;
- Importancia de la minería y de la industria de extracción de minerales;
- Patrón de eliminación de desechos –incineración/rellenos sanitarios;
- Estado de la aplicación de tecnologías para el control de liberaciones en la generación de energía, incineración de desechos y diversos procesos industriales.

96. En varios países, la contribución estimada de los usos intencionales se sitúa entre 10 y 80% del total de las emisiones nacionales en el aire, según la incidencia de los factores antes mencionados. En el capítulo se muestran estimaciones aproximadas de distribución según los principales tipos de fuentes antropógenas en cada país.

97. Como se muestra en la figura, el movimiento general del mercurio en la sociedad danesa en 1992/93, en kilogramos de mercurio/año (según Maag *et al.*, 1996). Obsérvese que las entradas y salidas no cuadran porque las salidas reflejan entradas más elevadas de años anteriores. La variación neta en reservas fue negativa.



98. Dinamarca es un país bastante pequeño, con una vigilancia relativamente precisa de los flujos de productos y desechos en la economía y el medio ambiente. Por eso se han podido elaborar balances bastante detallados, mejor conocidos como evaluaciones de flujo de sustancias, para el caso del mercurio, que proporcionan información útil sobre la contribución de los diversos sectores a la carga total de mercurio en la sociedad y el medio ambiente. Como se muestra en la imagen, la mayor parte de la contribución –más de dos terceras partes– proviene de usos intencionales (producción y productos cloroalcalinos), y las contribuciones de usos intencionales a las liberaciones en el aire en 1992/93 podrían representar aproximadamente entre 50 y 80% de las liberaciones totales en la atmósfera desde Dinamarca. Hay que señalar que en Dinamarca la extracción y procesamiento de mineral primario no es un sector tan amplio como en otros países.

99. En el capítulo se dan ejemplos de la distribución nacional de liberaciones antropógenas de mercurio provenientes de diversos tipos de fuente. Estas fuentes pueden ser significativas en países en que se practica la minería del mercurio o los usos intencionales de mercurio para la extracción de oro a pequeña escala (véase por ejemplo la presentación de Colombia, sub14gov).

## CAPÍTULO 7 – Producción y uso actuales del mercurio

### Origen del mercurio

100. El mercurio es un elemento natural de la tierra, presente en la corteza terrestre a razón promedio de 0,05 mg/kg, con significativas variaciones locales. Los minerales de mercurio que se suelen extraer contienen cerca de 1% de mercurio, aunque los estratos que se explotan en España contienen generalmente hasta 12 o 14% de mercurio. A pesar de que se conocen unos 25 minerales principales de mercurio, prácticamente los únicos depósitos que han sido explotados para la extracción de mercurio son los de cinabrio. En la biosfera también hay mercurio a niveles muy bajos. La absorción de mercurio por parte de las plantas puede explicar la presencia de mercurio en combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas, pues se considera que estos combustibles se han formado a partir de la transformación geológica de residuos orgánicos.

### Fuentes de mercurio para el mercado

101. El mercurio ofrecido en el mercado mundial se obtiene de diversas fuentes, entre ellas (sin que el orden indique jerarquía):

- Producción minera de mercurio primario (es decir, extraído de minerales de la corteza terrestre):
  - como producto principal de la actividad minera,
  - o como subproducto de la extracción o refinamiento de otros metales (zinc, oro, plata) o minerales;

- Mercurio primario recuperado al refinar gas natural (se comercializa como subproducto, pero no se comercializa en todos los países);
- Reprocesamiento o minería secundaria de residuos mineros antiguos que contienen mercurio;
- Mercurio reciclado, recuperado de productos usados y desechos de procesos de producción industrial. Quedan grandes cantidades (“depósitos”) de mercurio “almacenados” dentro de productos que aún se usan o que están “en los estantes de los usuarios”;
- Mercurio de las reservas, o inventarios, gubernamentales;
- Reservas privadas (como el mercurio para la industria cloroalcalina). Quizás parte de estas reservas regresen al mercado posteriormente.

102. La minería y demás operaciones de extracción mineral de mercurio primario constituyen la movilización humana del mercurio para uso intencional en productos y procesos. El mercurio reciclado y el mercurio en reservas puede considerarse como removilización antropógena de mercurio extraído anteriormente de la Tierra.

### **Extracción continua de mercurio primario**

103. A pesar de la reducción de consumo mundial de mercurio (la demanda global es menos de la mitad de lo que era en 1980), de la competencia en la oferta y los bajos precios, en algunos países se sigue produciendo mercurio por extracción. En los últimos años, España, China, Kirguistán y Argelia han dominado esta actividad, y muchas de las minas son propiedad nacional. La tabla presenta información sobre la producción primaria mundial de mercurio registrada desde 1981. También existe minería artesanal de mercurio, de pequeña escala, en China, Rusia (Siberia), Mongolia Exterior, Perú y México. Es probable que esta producción satisfaga una sólida demanda local de mercurio, generalmente para la minería artesanal de oro. Para que haya tal producción de mercurio pese a la oferta de mercurio barato en el mercado mundial es preciso que exista mineral de mercurio accesible y mano de obra barata.

Periodo	1981-1985	1986-1989	1990-1995	1996	1997	1998	1999	2000
Producción primaria global registrada (en toneladas métricas)	5500-7100	4900-6700	3300-6100	2600-2800	2500-2900	2000-2800	2100-2200	1800

Fuentes: Ver sección 7.2.1.

### **Pueden comercializarse grandes cantidades de mercurio reciclado**

104. Han estado llegando al mercado grandes cantidades de mercurio como consecuencia de la sustitución y suspensión de la producción cloroalcalina a base de mercurio en Europa y otras regiones. Los análisis de mercado indican que desde mediados de los años 1990 se han comercializado a escala mundial entre 700 y 900 toneladas métricas de mercurio reciclado por año (lo que corresponde a aprox. 30% de la producción primaria registrada), y la mayor parte proviene de plantas de producción cloroalcalina (véase la sección 7.3.1). Sin embargo, en la medida en que siga habiendo una demanda lícita de mercurio, su reutilización y reciclado reemplaza la extracción y fundición de mercurio virgen, que implicaría liberaciones adicionales y ocasionaría la movilización de mercurio nuevo en el mercado y en el medio ambiente.

105. La preferencia por la reutilización y el reciclado de mercurio con respecto a la extracción – especialmente en el contexto de la introducción de grandes cantidades de mercurio en el mercado– se ve complicada por la regla económica general de que una oferta excedentaria de mercurio abarata los precios en el mercado, lo que a su vez propicia más uso y más desecho de mercurio. Por eso se están adoptando ciertas precauciones, como se describe a continuación.

106. A partir de esta década crecerá enormemente la disponibilidad de mercurio por la conversión o clausura de plantas de cloro-álcali que todavía lo utilizan en sus procesos, ya que muchos países europeos están promoviendo su eliminación paulatina de aquí a 2010. Tan sólo la Unión Europea podría introducir hasta 13.000 toneladas métricas de mercurio adicional en el mercado (lo que equivale a unos 6-12 años de producción de mercurio primario). Como respuesta a esta avalancha potencial de mercurio, Euro Chlor, que representa la industria cloroalcalina en Europa, ha firmado un acuerdo contractual con Minas de

Almadén en España. El acuerdo estipula que Minas de Almadén comprará el excedente de las plantas de cloro-álcali de Europa occidental y lo colocará en el mercado, sustituyendo al mercurio que de otra forma Almadén habría extraído. En virtud de este acuerdo, todos los miembros de Euro Chlor de la UE venderán el excedente de mercurio a Almadén, y Euro Chlor considera que la mayoría de los productores de cloro de Europa central y oriental se comprometerán igualmente. Aunque el acuerdo constituye sin duda un esfuerzo de todas las partes para solucionar de forma responsable el problema del exceso de mercurio, hay quienes consideran que aún no existen controles adecuados para saber dónde se venderá y cómo se utilizará este mercurio.

107. Asimismo, grandes reservas de mercurio que guardan algunos gobiernos ya no son necesarias, y pueden ser objeto de venta ulterior en el mercado mundial, si las autoridades nacionales correspondientes lo autorizan. Esto sucede, por ejemplo, en los Estados Unidos, que tiene en inventario 4.435 toneladas métricas de mercurio. La venta de este mercurio fue suspendida en 1994, en espera de una determinación sobre su posible impacto en el medio ambiente y en el mercado. Sin embargo, antes de ello, la venta de algunas de estas reservas contribuyó significativamente al abastecimiento de mercurio en el mercado nacional estadounidense, y también se exportó. Las ventas del gobierno estadounidense representaron entre 18 y 97% de la demanda nacional de mercurio en el periodo 1990-94 (US EPA, 1997; Maxson y Vonkeman, 1996).

### Usos del mercurio

108. Fascinante por ser el único metal líquido, el mercurio se conoce desde hace miles de años, y se utiliza en un gran número de productos y procesos que aprovechan sus singulares características. El mercurio es un excelente material para muchas aplicaciones porque es líquido a temperatura ambiente, es un buen conductor eléctrico, tiene densidad muy alta y alta tensión superficial, se expande/contrae uniformemente en toda su gama líquida respondiendo a cambios de presión y temperatura, y es tóxico para los microorganismos (incluso los organismos patógenos) y otras plagas.

109. Antiguamente se utilizaban bastante algunos compuestos orgánicos de mercurio, por ejemplo, en plaguicidas (sobre todo en el tratamiento de semillas) y biocidas, en algunas pinturas, productos farmacéuticos y cosméticos. Aunque muchos de estos usos se han reducido en algunas partes del mundo, los compuestos orgánicos de mercurio siguen utilizándose para diversos fines. Como ejemplo, tenemos en algunos países los tratamientos de semillas a base de compuestos de mercurio, el uso de dimetilmercurio en pequeñas cantidades como patrón de referencia para algunos análisis químicos, y del timerosal (que contiene etilmercurio), que se utiliza como conservador en algunas vacunas y otros productos médicos y cosméticos desde los años 1930. Al haber cada vez más conciencia de los posibles efectos perjudiciales del mercurio en la salud y el medio ambiente, el número de usos (de mercurio orgánico e inorgánico) así como la cantidad de mercurio utilizado han disminuido sustancialmente en muchos de los países industrializados, sobre todo durante las últimas dos décadas.

#### Ejemplos de usos de mercurio

##### Como metal (entre otros):

- para extracción de oro y plata (durante siglos)
- como catalizador en la industria cloroalcalina
- en manómetros para medir y controlar la presión
- en termómetros
- en interruptores eléctricos y electrónicos
- en lámparas fluorescentes
- en las amalgamas dentales

##### Como compuestos químicos (entre otros):

- en baterías (como dióxido)
- biocidas en la industria del papel, pinturas o en semillas
- como antiséptico en productos farmacéuticos
- reactivos para análisis de laboratorio
- catalizadores
- pigmentos y colorantes (quizás uso muy antiguo)
- detergentes (quizás uso muy antiguo)
- explosivos (quizás uso muy antiguo)

110. No obstante, las presentaciones recibidas para la Evaluación Mundial sobre el Mercurio han permitido confirmar que muchos de los usos eliminados en los países de la OCDE siguen vigentes en otras partes del mundo. Hay países en que algunos de estos usos se han prohibido o restringido rigurosamente dado sus efectos perjudiciales en los seres humanos y el medio ambiente.

111. Además, aunque este capítulo ofrezca una idea general de la producción y uso del mercurio en todo el mundo, muestra también que es de vital importancia comprender mucho mejor los mercados y flujos mundiales del mercurio para poder evaluar la demanda, establecer las medidas adecuadas de prevención y reducción de la contaminación y vigilar los avances hacia el logro de objetivos específicos.

## **CAPÍTULO 8 – Tecnologías y prácticas de prevención y de control**

112. Como se expone en el capítulo 6, las fuentes de liberaciones de mercurio en la biosfera pueden agruparse en cuatro categorías principales. Las liberaciones debido a la movilización natural del mercurio y la removilización de mercurio antropógeno depositado antiguamente en suelos, sedimentos y masas de agua no se conocen del todo y están en gran medida fuera del control humano.

113. Las otras dos son liberaciones antropógenas actuales de mercurio. Reducir o eliminar estas liberaciones puede requerir:

- Inversiones para el control de las liberaciones derivadas de materiales básicos y materias primas contaminados con mercurio y sustitución de su uso, pues constituyen la fuente principal de liberaciones de mercurio de usos “no intencionales”.
- Reducir o eliminar el uso de mercurio en productos y procesos, fuente principal de liberaciones del uso “intencional” de mercurio.

114. Los métodos específicos para controlar las liberaciones de mercurio de estas fuentes varían mucho, según sean las circunstancias locales, pero pueden agruparse en cuatro categorías:

- A. Reducción de la extracción y consumo de mercurio en materias primas y productos que originan liberaciones de mercurio;
- B. Sustitución o eliminación de productos, procesos y prácticas que contienen o utilizan mercurio;
- C. Control de las liberaciones de mercurio mediante técnicas de control de fin de ciclo (“end-of-pipe”);
- D. Gestión de desechos de mercurio.

115. Las dos primeras son medidas “preventivas” –evitan algunos usos o liberaciones de mercurio. Las otras dos son medidas “de control”, que reducen (o retrasan) algunas liberaciones antes de que lleguen al medio ambiente. Dentro de estas categorías muy generales se encuentra un gran número de técnicas y estrategias particulares para reducir las liberaciones de mercurio y exposiciones al mismo. Su aplicación en los diversos países depende de las prioridades gubernamentales y locales, información y sensibilización sobre posibles riesgos, marco jurídico, ejecución de la legislación, costos de instrumentación, beneficios percibidos y otros factores.

### **A. Reducción del consumo de materias primas y productos que generan liberaciones de mercurio**

116. Reducir el consumo de materias primas y productos que generan liberaciones de mercurio es una medida preventiva que se aplica sobre todo a productos y procesos a base de mercurio, pero que también puede derivarse de un incremento de eficiencia en el uso de materias primas o de combustibles para la generación de energía. Este grupo de medidas podría implicar la elección de otra materia prima, como el gas natural para la generación de energía en lugar de carbón, o quizás utilizar un tipo de carbón con determinada característica (por ejemplo, más cloro) ya que las emisiones de mercurio derivadas de la combustión de este tipo de carbón podrían controlarse más fácilmente que las de otros tipos.

117. Otra posible medida en algunas regiones es el uso de carbón con una menor concentración de mercurio (las concentraciones de mercurio parecen variar considerablemente en algunas regiones según el origen de las materias primas). Sin embargo, este método presenta ciertas limitaciones y posibles

problemas. Por ejemplo, como sucede con las plantas eléctricas, que prefieren el petróleo crudo bajo en azufre, es probable que haya plantas que estén dispuestas a pagar más por carbón bajo en mercurio, con lo que disminuye el valor de mercado de todo el carbón alto en mercurio, lo que a su vez puede generar un consumo mayor de ese tipo de carbón en regiones en las que los controles de emisiones para esas plantas son menos rigurosos. Además, los datos recopilados recientemente en Estados Unidos indican que el abastecimiento de carbón en ese país no varía significativamente en cuanto a contenido de mercurio.

118. Con todo, estas medidas preventivas cuya finalidad es reducir las emisiones de mercurio son, por lo regular, rentables, salvo en los casos en que el precio de alguna materia prima alternativa sea considerablemente mayor o cuando otros problemas obstaculicen este método.

#### **B. Substitución de productos y procesos a base de mercurio**

119. Sustituir productos que contienen mercurio y procesos que lo utilizan con productos y procesos sin mercurio puede ser una de las medidas preventivas que más pueden influir en todo el flujo del mercurio en la economía y el medio ambiente. Puede reducir sustancialmente el mercurio en los hogares (y reducir liberaciones accidentales, por ejemplo, cuando se rompe un termómetro), el medio ambiente, flujo de desechos, emisiones de incineradores y rellenos sanitarios. Los sustitutos son, en su mayoría, rentables, sobre todo porque su demanda es cada vez mayor. En este grupo de medidas cabe también la conversión a tecnologías sin combustibles fósiles en las plantas generadoras que hasta ahora los utilizan.

120. Sin embargo, sería un error suponer que la sustitución es siempre la mejor opción. Por ejemplo, en el caso de las lámparas fluorescentes de eficiencia energética, mientras no haya sustituto competitivo que no use mercurio, desde la perspectiva del ciclo de vida del producto es preferible utilizar una lámpara de eficiencia energética que contenga mercurio que utilizar una lámpara fluorescente común, menos eficiente, que no contenga mercurio, en vista de las prácticas actuales de producción de electricidad.

#### **C. Control de emisiones de mercurio mediante técnicas de control de fin de ciclo (“end-of-pipe”)**

121. El control de las liberaciones de mercurio mediante técnicas de control de fin de ciclo, como el filtrado de gases de escape, puede ser especialmente apropiado para procesos que utilizan materias primas con contaminación mínima de mercurio: centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles, la producción de cemento (en el que la cal, como materia prima, suele contener cantidades mínimas de mercurio), la extracción y la elaboración de materias primas como hierro y acero, ferromanganeso, zinc, oro y otros metales no ferrosos y la elaboración de materias primas secundarias como chatarra de hierro y acero. Las tecnologías de control existentes que reducen el SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y materia particulada de las calderas e incineradores alimentados con carbón, si bien no se utilizan todavía extensivamente en muchos países, también proporcionan un cierto control de mercurio. En el caso de calderas alimentadas con carbón, las reducciones van de 0 y 96%, según el tipo de carbón, tipo de caldera, y equipo de control de emisión. En promedio, a clase inferior de carbón menor reducción de mercurio; sin embargo, las reducciones también pueden variar dentro de una misma clase de carbón. La tecnología para un mayor control del mercurio está en la etapa de desarrollo y demostración, y todavía no se comercializa. A largo plazo, las tecnologías de control para diversos contaminantes, entre ellos SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, MP y mercurio, pueden ser un método rentable. Sin embargo, aunque reducen el problema de contaminación atmosférica por mercurio, las tecnologías de control de fin de ciclo siguen generando desechos de mercurio que son fuentes potenciales de futuras emisiones y deben ser eliminadas o reutilizadas de forma ambientalmente aceptable.

#### **D. Gestión de los desechos de mercurio**

122. Los desechos de mercurio, incluidos los residuos recuperados con tecnologías de control de fin de ciclo, constituyen una categoría especial de liberaciones de mercurio, y pueden afectar a poblaciones alejadas de la fuente inicial del mercurio. La gestión de los desechos de mercurio, que es la cuarta medida de “control” mencionada anteriormente, puede consistir en volver inerte el contenido de mercurio de los desechos, para luego depositarlos en rellenos sanitarios controlados, o bien depositarlos sin tratamiento previo. En Suecia, la única eliminación aceptable del mercurio consiste en el “almacenamiento definitivo” de los desechos, previamente tratados, a grandes profundidades, pero algunos aspectos técnicos de este método aún no se han resuelto (este punto se vuelve a tratar más adelante).

123. La gestión de desechos de mercurio es cada vez más compleja ya que se recolecta cada vez más mercurio de una gran variedad de fuentes, entre ellas, productos del filtrado de gas, lodos de la industria

cloroalcalina, cenizas, escorias y residuos minerales inertes, así como tubos fluorescentes usados, baterías y otros productos que por lo general no se reciclan. En los vertederos de desechos ordinarios generalmente se permiten concentraciones bajas de mercurio, pero algunos países sólo permiten que se depositen los desechos con concentraciones mayores de mercurio en vertederos con mejores tecnologías de control de liberaciones, para así limitar el lixiviado y la evaporación de mercurio. En algunos países el costo de la eliminación aceptable de desechos de mercurio es tal que muchos productores están buscando alternativas para no tener que generar ni tratar desechos de mercurio. La gestión de desechos de mercurio, tal como se practica hoy en día, en apego a la normatividad nacional y local, requiere cada vez más supervisión e inversión a largo plazo. La gestión adecuada de desechos de mercurio es importante para reducir liberaciones en el medio ambiente, como las ocasionadas por filtraciones (en termómetros y manómetros rotos, por ejemplo) o liberaciones que se generan con el tiempo debido a filtraciones en ciertas aplicaciones (interruptores automáticos de automóviles, amalgamas dentales). Además, dada la demanda de mercurio, la recolección de productos que contienen mercurio para fines de reciclado reduce la necesidad de extracción de mercurio nuevo.

### Prevención de emisiones y medidas de control

124. Como muestra la figura, una combinación cuidadosamente estudiada de medidas de prevención y control de emisiones es una forma efectiva de lograr una reducción óptima de liberaciones de mercurio. He aquí algunas medidas de prevención y control que pueden combinarse y aplicarse para las fuentes más importantes de liberaciones antropógenas de mercurio:

- Se pueden reducir las emisiones de mercurio de **incineradores de desechos municipales y médicos** separando la pequeña porción de desechos que contienen mercurio antes de su combustión. Por ejemplo, en los Estados Unidos, la recolección doméstica gratuita de desechos de mercurio ha resultado muy eficaz pues se ha logrado recuperar gran cantidad de productos que contienen mercurio e incluso recipientes llenos de mercurio elemental. Asimismo, los programas de separación han sido muy eficaces en el sector médico pues algunos hospitales se han comprometido a evitar la compra de productos con mercurio mediante programas conjuntos industria-ONG-gobierno. Sin embargo, a veces es difícil o costoso poner en práctica los programas de separación a mayor escala, sobre todo cuando se quieren implantar a toda una población. En tales casos, una mejor solución de largo plazo podría ser fomentar decididamente la sustitución de productos con mercurio por productos sin mercurio. Como solución de mediano plazo, pueden continuar los programas de separación, y se puede eliminar el mercurio de los gases de chimenea. Las emisiones de mercurio de la incineración de desechos médicos y municipales pueden controlarse relativamente bien agregando un sorbente de carbón al equipo de control de MP y SO<sub>2</sub> existente, pero este control no es cien por ciento efectivo y con este proceso se generan desechos que contienen mercurio.
- Las emisiones de mercurio de **calderas de plantas termoeléctricas y otras industrias**, sobre todo las que consumen carbón, pueden tratarse de manera efectiva mediante la depuración del carbón antes de la combustión, reducción de las cantidades de carbón consumido gracias al incremento de la eficiencia energética, medidas de control de fin de ciclo como depuración de gas de chimeneas y/o conversión a fuentes de combustible no de carbón, de ser posible. Otro método posible podría ser el uso de carbón con un contenido menor de mercurio. Otras opciones, como la depuración del carbón y otras opciones de pretratamiento para reducir emisiones de mercurio, si son viables y resultan rentables, también pueden emplearse. Además, puede captarse más mercurio introduciendo un sorbente antes de las tecnologías de control de SO<sub>2</sub> y MP, existentes. Estas tecnologías están en fase de desarrollo y demostración, pero aún no se comercializan. Además, los subproductos de estos procesos son fuentes potenciales de emisiones futuras y deben eliminarse y reutilizarse de manera ambientalmente aceptable.
- Las emisiones de mercurio generadas por la **contaminación residual de materias primas o materiales básicos** como en las industrias del cemento, minera y metalúrgica, pueden reducirse mediante técnicas de control de fin de ciclo y algunas veces seleccionando materias primas o materiales básicos cuya contaminación residual sea menor, si es posible.
- Las emisiones de mercurio durante **la producción de chatarra de acero**, en las zonas de desguace, trituradoras y en la producción secundaria de acero, se deben principalmente a los interruptores para

- luces interiores y sistemas de freno antibloqueo (*ABS*, por sus siglas en inglés) de los automóviles; por lo tanto, cabe prever un programa efectivo de recolección/retiro de interruptores como parte de la solución.
- Las liberaciones de mercurio y los peligros para la salud de las actividades de minería artesanal de oro pueden reducirse sensibilizando a los mineros y sus familias sobre los peligros, promoviendo ciertas técnicas no perjudiciales, que requieran menos, o que no requieran, mercurio y, de ser posible, construyendo instalaciones donde los mineros puedan llevar los minerales concentrados para el proceso final de refinado. Algunos países han intentado prohibir el uso de mercurio en la minería artesanal, lo que serviría, por ejemplo, para fomentar el uso de instalaciones centrales de procesamiento, pero la vigilancia de tal prohibición puede resultar difícil.
  - Las liberaciones de mercurio y exposiciones en el lugar de trabajo durante la **producción cloroalcalina** pueden reducirse considerablemente mediante la implantación de estrictos procedimientos de control de existencias, medidas “de orden y buen gobierno” para evitar que el mercurio se disperse, filtración adecuada del aire evacuado de la planta y manejo cuidadoso y eliminación adecuada de desechos de mercurio. Existen algunos métodos específicos de prevención para reducir las emisiones de mercurio en la atmósfera. La industria cloroalcalina estadounidense inventó el uso de luces ultravioleta para detectar las fugas de vapor de mercurio en el equipo de producción y así poderlas obturar. Antes de abrir el equipo, primero debe enfriarse para reducir así emisiones de mercurio en la atmósfera. Se puede emplear un analizador continuo de vapores de mercurio para detectar fugas de vapor y dar aviso a los trabajadores para que puedan tomar medidas correctivas. La solución a largo plazo más aceptada es fomentar la supresión gradual y ordenada de procesos de producción cloroalcalina que requieren mercurio, y su sustitución con tecnologías que no utilizan este elemento.
  - Las liberaciones y exposiciones al mercurio relacionadas con **pinturas, jabones, diversas aplicaciones de interruptores, termostatos, termómetros, manómetros y barómetros** que contienen mercurio, así como **soluciones de lentes de contacto, productos farmacéuticos y cosméticos** pueden reducirse sustituyendo estos productos con otros que no contengan mercurio.
  - Las emisiones de mercurio derivadas de **prácticas odontológicas** pueden reducirse preparando amalgamas de mercurio de forma más eficiente, sustituyendo con otros materiales las amalgamas de mercurio e instalando trampas en el sistema de aguas de desecho.
  - Las emisiones de mercurio de amalgamas dentales durante la **cremación** sólo pueden reducirse retirando las amalgamas antes de la cremación, aunque no es una práctica común, o bien filtrando las emisiones gaseosas al efectuarse la cremación. Como los purificadores de gases de combustión son aparatos de control costosos para un crematorio, es preferible usar métodos preventivos como la sustitución de amalgamas dentales de mercurio en odontología.
  - Respecto a la **eliminación no controlada de productos o desechos que contienen mercurio**, se pueden lograr reducciones de liberaciones si se decretan ilícitas estas prácticas y se aplica debidamente la legislación, si se mejora el acceso a plantas de desechos peligrosos y, a plazo más largo, si se reducen las cantidades de mercurio gracias a medidas que propicien su sustitución en productos y procesos.

## **CAPÍTULO 9 – Iniciativas para controlar liberaciones y limitar el uso y la exposición**

### **Iniciativas nacionales**

125. Los objetivos generales de las iniciativas vigentes sobre el mercurio son reducir o prevenir la liberación de mercurio en el medio ambiente y evitar sus efectos directos o indirectos en la salud humana y en el medio ambiente. Se pueden encontrar numerosas características comunes entre los países que han presentado información para este proyecto. En términos generales, las iniciativas pueden agruparse de la siguiente manera:



- Normas de calidad ambiental que fijan la concentración máxima aceptable de mercurio para diferentes medios, como agua potable, aguas superficiales, aire y suelo, así como para alimentos como el pescado;
- Acciones y normativas relacionadas con fuentes ambientales para controlar las liberaciones de mercurio en el medio ambiente, como las restricciones a las emisiones de fuentes puntuales en aire y agua, el fomento de las mejores tecnologías disponibles, tratamiento de desechos, y restricciones a su eliminación;
- Acciones y normativas de control de productos para productos con mercurio, como baterías, cosméticos, amalgamas dentales, lámparas, pinturas/pigmentos, plaguicidas, productos farmacéuticos, etc.;
- Otras normas, acciones y programas, como los reglamentos sobre exposición al mercurio en el lugar de trabajo, requisitos de información y notificación sobre uso y liberaciones de mercurio en la industria, recomendaciones para el consumo de pescado, y medidas de seguridad para el consumidor.

126. Los objetivos generales de las iniciativas vigentes sobre el mercurio son reducir o prevenir la liberación de mercurio en el medio ambiente y evitar sus efectos directos o indirectos en la salud humana y en el medio ambiente. Se pueden encontrar numerosas características comunes entre los países que han presentado información para este proyecto. En términos generales, las iniciativas pueden agruparse de la siguiente manera:

127. La tabla ofrece un panorama de los tipos de medidas de importancia aplicadas a la gestión y control del mercurio, en relación con su producción y su ciclo de vida útil, y una indicación del estado de su aplicación. Como puede verse en la tabla, los tipos de medidas vigentes cubren la mayoría de las fases del ciclo de vida de los productos y procesos del mercurio. Véase también el capítulo 8 para mayor información sobre las tecnologías de prevención o de control para reducir las liberaciones de mercurio.

### **Iniciativas regionales e internacionales**

128. Queda patente además que como consecuencia de la persistencia del mercurio en el medio ambiente y del hecho de que viaja grandes distancias por agua y aire, cruzando fronteras nacionales y acumulándose en el ciclo alimentario lejos de su punto de origen, algunos países han llegado a la conclusión de que las medidas que se tomen en el plano nacional son insuficientes. Hay ya casos en los que algunos países han comenzado a tomar medidas en los planos subregional, regional e internacional con ánimo de determinar denominadores comunes de reducción y asegurar su aplicación coordinada en los países de la zona objetivo.

129. Existen tres instrumentos jurídicamente vinculantes en el plano regional que recogen compromisos que obligan a las partes constituyentes a reducir el uso y liberación del mercurio y de sus compuestos, a saber:

- El Convenio de Ginebra sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia (Convenio LRTAP) y su protocolo de Aarhus de 1998 sobre metales pesados (constituido por Europa Central y Oriental, Canadá y Estados Unidos);
- El Convenio sobre la protección del medio marino del Nordeste Atlántico (Convenio OSPAR); y
- El Convenio sobre la protección del medio marino de la zona del Mar Báltico (Convenio de Helsinki);

Estos tres instrumentos han contribuido con éxito a reducir sustancialmente el uso y liberación de mercurio en el ámbito de sus regiones objetivo.

TIPO DE MEDIDA Y FINALIDAD		SITUACIÓN DE LA APLICACIÓN
<b>Fases de producción y uso del ciclo de vida</b>		
F U E N T E S  P U N T U A L E S	Evitar o limitar el uso intencional de mercurio en procesos	Prohibiciones generales aplicadas en muy pocos países
	Evitar o limitar la liberación directa del mercurio de procesos industriales (p. ej., en la industria metalúrgica y cloroalcalina)	Aplicada en muchos países, en particular en los países de la OCDE
	Aplicar tecnologías de control de emisiones para limitar las emisiones de mercurio por el uso de combustibles fósiles y el procesamiento de materiales minerales	Aplicada en algunos países de la OCDE
	Evitar o limitar la liberación de mercurio de procesos hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales	Aplicada en algunos países de la OCDE
	Evitar o limitar el uso de tecnología obsoleta y/o exigir el uso de las mejores tecnologías disponibles para reducir o evitar liberaciones de mercurio	Aplicada en algunos países, en particular en países de la OCDE
P R O D U C T O S	Evitar o limitar la comercialización nacional de productos que contienen mercurio	Prohibiciones generales aplicadas sólo en pocos países. Son más comunes las prohibiciones o restricciones de productos específicos: baterías, lámparas, termómetros clínicos
	Evitar la exportación de productos que contienen mercurio	Aplicada en muy pocos países
	Evitar o limitar el uso de mercurio y productos con mercurio ya adquiridos	Aplicada en muy pocos países
	Limitar el contenido permisible de mercurio presente como impurezas en materiales de gran volumen	Aplicada en muy pocos países
	Limitar el contenido permisible de mercurio en alimentos comerciales, en particular el pescado, y ofrecer orientación (con base en los mismos u otros valores límite) sobre el consumo de pescado contaminado	Aplicada en algunos países, en particular en países de la OCDE. Algunos países utilizan las directrices de la OMS.
<b>Fase de eliminación del ciclo de vida</b>		
Evitar, mediante una recolección eficiente de desechos, que el mercurio en desechos de productos y procesos se libere directamente al medio ambiente		Aplicada en muchos países, en particular en países de la OCDE
Evitar, mediante recolección y tratamiento por separado, que el mercurio en desechos de productos y procesos se mezcle con desechos menos peligrosos en el flujo general de desechos		Aplicada en muchos países, en particular en países de la OCDE
Evitar o limitar, mediante tecnologías de control de emisiones, las liberaciones de mercurio en el medio ambiente que provienen de incineración y otros tratamientos de desechos domésticos, desechos peligrosos y desechos médicos		Aplicada o por adoptarse en algunos países, en particular en países de la OCDE.
Establecer valores límite para contenido permisible de mercurio en lodos de depuración esparcidos en terrenos agrícolas		Aplicada en algunos países
Restringir el uso de residuos sólidos de incineración en la construcción de carreteras, edificación y otros usos		Aplicada en algunos países de la OCDE
Evitar la recomercialización de mercurio utilizado o reciclado		Aplicada en muy pocos países

130. La cooperación en los ámbitos regional y subregional no se limita, sin embargo, a meros acuerdos jurídicamente vinculantes. En los planos regional y subregional existen seis iniciativas destinadas a fomentar y promover el despliegue de esfuerzos cooperativos para reducir el uso y liberación de mercurio en el marco de la zona objetivo, sin que ello asiente obligaciones jurídicamente vinculantes para los países o regiones participantes. Tales iniciativas son: El Plan de Acción del Consejo del Ártico (ACAP), la Estrategia binacional para las sustancias tóxicas en los Grandes Lagos de Canadá y los EE.UU., el Plan

de Acción sobre el Mercurio de los Gobernadores de Nueva Inglaterra y los Primeros Ministros del Este de Canadá, el Plan de Acción regional de América del Norte sobre el mercurio, el Programa de Acción Ambiental en el Nórdico y las Conferencias sobre el Mar del Norte. Son importantes aspectos de tales iniciativas el debate y acuerdo sobre los objetivos concretos a lograr mediante la cooperación, elaboración de estrategias y planes de trabajo para alcanzar los objetivos definidos y establecer un foro que sirva para vigilar y debatir los logros según se vayan materializando. Si bien estas iniciativas no tienen un carácter vinculante para con los participantes, sí hay intenso compromiso político latente que tiende a asegurar que los acuerdos a los que se haya llegado en el marco de la iniciativa en cuestión se implanten en los planos regional y nacional.

131. Hay también algunos ejemplos de iniciativas regionales y nacionales que el sector privado acomete cual compromisos voluntarios, que pueden considerarse como adjuntos a las iniciativas del sector público, teniendo las iniciativas buenas posibilidades de éxito al venir respaldadas, evidentemente, por los interesados fundamentales. Todas estas iniciativas voluntarias constituyen valiosos suplementos a las medidas reglamentarias de ámbito nacional que facilitarán un mayor grado de concienciación, el intercambio de información y el establecimiento de pautas de reducción que beneficien a la región objetivo.

132. En el plano internacional, existen dos acuerdos ambientales multilaterales (AAM) que se ocupan del mercurio y sus compuestos: El Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación y el Convenio de Róterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. Estos dos convenios son instrumentos que regulan el comercio de ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos indeseables. Sin embargo, no incluyen de forma expresa compromisos específicos tendentes a reducir los usos y liberaciones de mercurio o sustancias que lo contengan. El acuerdo sobre productos químicos que se negoció más recientemente, el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, no se ocupa del mercurio. Además de todo lo antedicho, existen organizaciones internacionales con actividades en curso que abordan las repercusiones adversas que el mercurio ejerce en los humanos y el medio ambiente.

133. En uno de los apéndices que se adjuntan al presente informe, con el título “Recuento de acciones nacionales presentes y futuras, incluida la legislación, relativas al mercurio” (Overview of existing and future national actions, including legislation, relevant to mercury). El apéndice se publica en un documento por separado. La información que se compila en el presente documento se ha extraído de las presentaciones nacionales recibidas de los respectivos países que participan en este proyecto.

## **CAPÍTULO 10 – Datos y información faltantes**

### **Necesidades de investigación e información en el plano nacional**

134. En sus presentaciones al PNUMA, algunos países manifestaron la necesidad de crear o mejorar su “base de datos” nacional sobre mercurio y compuestos de mercurio (es decir, consolidar su conocimiento e información sobre usos y emisiones, fuentes de liberación, niveles en el medio ambiente y opciones de prevención y control). Aunque la situación es distinta en cada país, parece haber una necesidad general de información relativa a los diversos elementos de una estrategia de gestión ambiental para el mercurio. Además, los países que tienen más tradición en la gestión ambiental del mercurio han manifestado la necesidad de seguir ampliando su base de información sobre el mismo para poder evaluar mejor los riesgos y garantizar la gestión efectiva de los mismos. Éstas son algunas de las necesidades:

- Inventarios de uso, consumo y liberaciones ambientales nacionales de mercurio
- Vigilancia de niveles actuales de mercurio en diversos medios (aire, deposición atmosférica, aguas superficiales) y biota (como peces, vida silvestre y seres humanos) y evaluación de los efectos del mercurio en seres humanos y ecosistemas, incluidas las repercusiones de exposiciones acumuladas a diferentes formas de mercurio
- Información sobre el transporte, transformación, circulación y destino del mercurio en diversos sectores
- Datos y herramientas de análisis para evaluación de riesgos en seres humanos y la ecología

- Conocimientos e información sobre posibles medidas de prevención y reducción pertinentes para la situación nacional
- Sensibilización de la ciudadanía sobre los posibles efectos perjudiciales del mercurio y el manejo adecuado y prácticas de gestión de desechos
- Herramientas y centros adecuados para acceder a la información referente al mercurio y compuestos de mercurio en el ámbito nacional, regional e internacional
- Creación de capacidad institucional e infraestructura física para la gestión segura de sustancias peligrosas, entre ellas el mercurio y los compuestos de mercurio, y capacitación del personal que debe manipular estas sustancias peligrosas
- Información sobre el comercio y la industria del mercurio y materiales que contienen mercurio

135. En teoría, parte de esta información podría intercambiarse a nivel nacional, regional o internacional, ya que su importancia suele ser universal. Pero quizás habrá que “traducirla” al contexto de las tradiciones, actividades económicas e industriales y la realidad política de cada país. Ello exige prioridades, conocimientos y financiamiento sustanciales. Otros aspectos de la información son propios de cada país y requerirían esfuerzos nacionales para investigarlos, recopilarlos y procesarlos.

#### **Falta de datos de carácter general, global**

136. Si bien el mercurio es, probablemente, una de las sustancias tóxicas ambientales mejor estudiadas, aún hay lagunas respecto de algunas de las cuestiones fundamentales, generales y de escala mundial, relacionadas con él. Con base en la información proporcionada, y la compilación y evaluación aquí presentadas, presentamos una posible división del tipo de información faltante, de importancia mundial, sobre mercurio (el orden no indica jerarquía):

- Falta comprender y cuantificar los **mecanismos naturales que inciden en el destino del mercurio** en el medio ambiente, como movilización, transformación, transporte y absorción. En otras palabras, las trayectorias del mercurio en el medio ambiente, y del medio ambiente hacia los seres humanos.
- Falta comprender y cuantificar – desde una perspectiva mundial– el **comportamiento humano en relación con las liberaciones de mercurio**, y las correspondientes contribuciones humanas a la carga local, regional y mundial de mercurio. En otras palabras, las trayectorias del mercurio desde los seres humanos hacia el medio ambiente.
- Falta comprender la forma y el grado en que los seres humanos, ecosistemas y flora y fauna silvestre **son afectados por los niveles actuales de mercurio** que se encuentran en el medio ambiente local, regional y mundial. En otras palabras, los posibles efectos, número de afectados, y magnitud y gravedad de la afectación.

137. Se ha logrado una comprensión elemental de las tres categorías mencionadas anteriormente, gracias a medio siglo de intensas investigaciones sobre las repercusiones y las trayectorias del mercurio. Sin embargo, en algunas áreas, hace falta más investigación que proporcione nuevos datos para mejorar las evaluaciones por medio de la modelación ambiental y las herramientas modernas que facilitan la toma de decisiones. Pese a estas lagunas de información, se ha logrado un conocimiento suficiente sobre el mercurio (concretamente sobre su destino y transporte, efectos en la salud y el medio ambiente, y el papel de la actividad humana), de tal forma que no se debería esperar más para emprender una acción internacional contra los efectos perjudiciales del mercurio en el mundo.

#### **CAPÍTULO 11 – Opciones para hacer frente a todo efecto significativo del mercurio a escala mundial**

138. El capítulo 11 responde a la solicitud del Consejo de Administración del PNUMA de que se esbozaran, para su examen, opciones para hacer frente a todo efecto perjudicial del mercurio a nivel mundial, entre otras cosas, reduciendo y/o eliminando el uso, las emisiones, las descargas y las pérdidas de mercurio y de sus compuestos; mejorando la cooperación internacional y procurando aumentar la comunicación relativa a los riesgos.

139. Como parte de la instrumentación de la decisión 21/5 del Consejo de Administración, el PNUMA estableció un Grupo de Trabajo para que le asistiera en la preparación de las discusiones del Consejo de Administración sobre este tema durante su período de sesiones en febrero de 2003. Durante su primera reunión celebrada del 9 al 13 de septiembre de 2002, el Grupo de Trabajo sobre la Evaluación Mundial del Mercurio concluyó su informe de evaluación para presentación ante el Consejo de Administración en su XXII Período de sesiones. En esta reunión, el Grupo de Trabajo llegó a algunas conclusiones relevantes para las consideraciones del Consejo de Administración:

- A partir de las conclusiones de este informe, el Grupo de Trabajo determinó que, a su parecer, son suficientes las pruebas de significativos efectos perjudiciales globales que justifican la acción internacional para reducir los riesgos en la salud y el medio ambiente debidos a la liberación del mercurio en el medio ambiente. El fundamento lógico de esa conclusión se describe en la sección 11.2. Aunque es importante conocer mejor el problema, el Grupo de Trabajo subrayó que no era necesario tener un consenso pleno o pruebas completas para poder emprender acciones y que, por lo tanto, también deberían atenderse los efectos posiblemente perjudiciales a nivel mundial.
- El Grupo de Trabajo también acordó que se realizara un esbozo de opciones para recomendación sobre medidas para hacer frente a efectos perjudiciales del mercurio a escala mundial, regional, nacional y local. Las opciones se describen en la sección 11.3. En la sección 11.4 se explican otros aspectos para consideración del Consejo de Administración. Las opciones comprenden medidas como reducir o eliminar la producción, consumo y liberaciones de mercurio, la sustitución por otros productos y procesos, el consumo, la puesta en marcha de negociaciones para un tratado con carácter vinculante, el establecimiento de un programa mundial de acción no vinculante, y el fortalecimiento de la cooperación entre gobiernos en lo relativo a intercambio de información, comunicación de riesgos, evaluación y otras actividades pertinentes.
- Por último, el Grupo de Trabajo convino en que es preciso presentar al Consejo de Administración una variedad de posibles acciones inmediatas a la luz de sus conclusiones sobre los efectos del mercurio, por ejemplo, aumentar la protección de poblaciones vulnerables (mediante mejores esfuerzos de divulgación entre mujeres embarazadas y mujeres que planean embarazarse), proporcionar apoyo técnico y financiero a los países en desarrollo y países con economías en transición, e intensificar la investigación, vigilancia y recopilación de datos sobre aspectos ambientales y de salud del mercurio así como sobre sustitutos del mercurio que no sean nocivos para el medio ambiente. Esas propuestas de acción inmediata se plantean en la sección 11.5.

# 1 Introducción

## 1.1 Antecedentes y mandato

140. El presente informe constituye la respuesta a la petición formulada por el Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), mediante la decisión 21/5 del mismo, al efecto de que el PNUMA, en cooperación con otros miembros del Programa Interinstitucional para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas (IOMC), acometa una evaluación mundial sobre el mercurio y sus compuestos, y presente sus conclusiones al vigésimo segundo período de sesiones de 2003 del Consejo de Administración. La evaluación incluiría las contribuciones aportadas por gobiernos, organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales, así como por el sector privado, y abarcaría los siguientes aspectos:

- a) Resumir la información de la que se disponga actualmente, incluidos los resultados de los más recientes e influyentes exámenes sobre los productos químicos, e incluidos también los procesos de transformación y metilación, así como la toxicología y repercusiones del mercurio sobre la salud del ser humano y el medio ambiente;
- b) Compilar y resumir la información de la que se disponga actualmente al respecto de las fuentes de mercurio en todo el mundo, ya sean naturales o antropogénicas;
- c) Consolidar y analizar la información pertinente las fuentes y el desplazamiento a grandes distancias por el medio ambiente, las rutas por lo que ello acaece, la sedimentación y la transformación de tales productos en todo el mundo;
- d) Examinar y describir las fuentes de liberación de mercurio al medio ambiente, así como la actual producción y pautas de uso del mismo como producto básico mundial;
- e) Compilar y resumir información relativa a las tecnologías de prevención y control, así como a las prácticas, efectividad y costes conexos atinentes a tales tecnologías, por las que se podría reducir y/o eliminar las liberaciones de mercurio, incluyendo en dicha información el empleo de los sustitutos idóneos, donde correspondiera;
- f) Describir las acciones en curso y compilar información sobre los planes a llevar a cabo en un futuro en los planos subregionales, regionales o nacionales que se han previsto para controlar las liberaciones y limitar el empleo y las exposiciones, incluidas las prácticas de gestión de desechos;
- g) Reseñar las opciones a considerar en el vigésimo segundo período de sesiones del Consejo de Administración/Foro Mundial de Ministros del Medio Ambiente en las que se aborde toda repercusión adversa del mercurio que sea significativa en el ámbito mundial y, entre otras cosas, reduciendo y/o eliminando los usos, emisiones, descargas y pérdidas del mercurio y de sus compuestos; mejorando la cooperación internacional y atendiendo a las formas de mejorar la comunicación sobre los riesgos; y
- h) Facilitar, en lo que a los aspectos a) a f) concierne, una descripción resumida de la información técnica y científica necesaria y de las deficiencias informativas.

141. El Consejo de Administración pidió al PNUMA que presentará a su vigésimo segundo período de sesiones un informe sobre los resultados de la evaluación, y convino asimismo en examinar en ese período de sesiones la necesidad de evaluar otros metales pesados que pudieran ser de preocupación mundial.

142. En el informe de evaluación indicado supra, los aspectos específicos catalogados por el Consejo de Administración es su decisión 21/5 son como sigue:

- El aspecto a) se trata en los capítulos 2, 3, 4 y 5;
- El aspecto b) se trata en las secciones 6.1, 6.2 y 6.3 del capítulo en cuestión;
- El aspecto c) se trata en la sección 6.4 del capítulo en cuestión;
- Los aspectos d), e) y f) se tratan en los capítulos 7, 8 y 9, respectivamente;
- El aspecto g) se trata en el capítulo 11; y
- El aspecto h) se trata en el capítulo 10.

## 1.2 Presentación de la información para la elaboración del presente informe

143. A raíz de la petición efectuada por el Consejo de Administración, el PNUMA invitó, en abril de 2001, a gobiernos, organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales, así como al sector privado, a presentar información pertinente al mercurio y a sus compuestos. En la medida de lo posible, y según se fue recibiendo, la información se envió al sitio de la Evaluación Mundial sobre el Mercurio en la Web, en <http://www.chem.unep.ch/mercury/>, creado especialmente para dilucidar la información recogida. Se observaron los reglamentos de copyright pertinentes en lo tocante a los informes y artículos presentados al amparo de legislaciones de copyright.

144. Al cierre del 16 de septiembre de 2002, 81 gobiernos habían presentado información para la elaboración del presente informe, u observaciones a su respecto, así como la Comisión Europea en representación de la Unión Europea (UE), 10 organizaciones intergubernamentales y 12 no gubernamentales. La distribución por regiones geográficas de las presentaciones facilitadas por los gobiernos se muestra en la Figura 1.1.

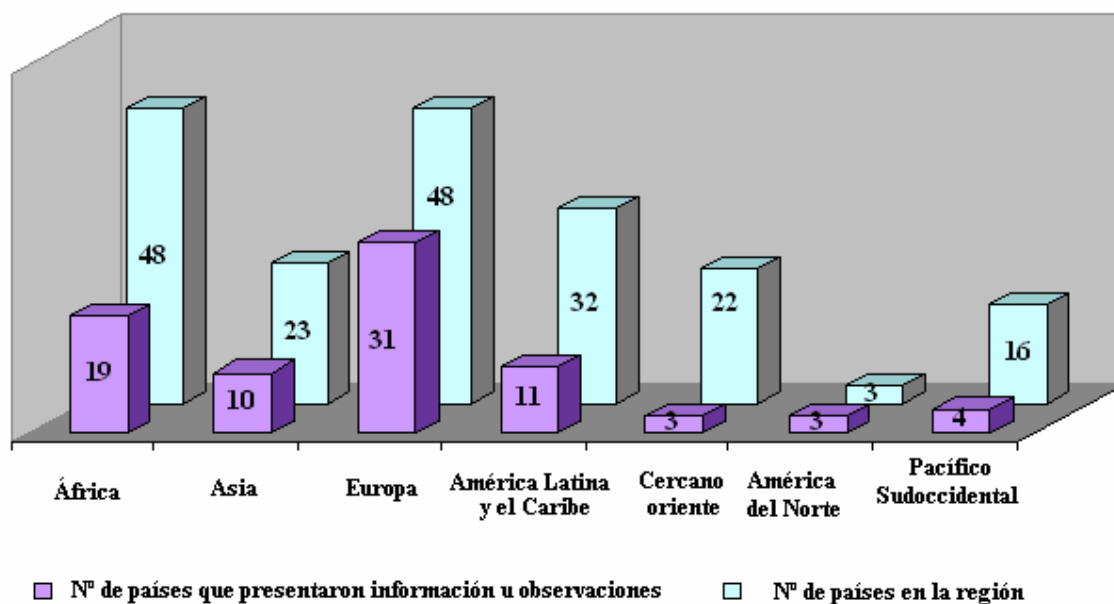


Figura 1.1 Distribución por regiones geográficas de las presentaciones facilitadas a la Evaluación Mundial sobre el Mercurio.

145. La figura 1.2 muestra la distribución mundial de la información u observaciones presentadas por los gobiernos. En otros documentos, que no se incluyen en el presente informe, puede encontrarse una lista de las presentaciones y otra de las observaciones efectuadas al primer proyecto de este informe. Además, en dichos documentos podrán también encontrarse pormenores ulteriores sobre cada uno de los gobiernos, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que han presentado información u observaciones. Cada presentación u observación que figura en las listas ha recibido un número específico que sirve como referencia para poder remitirse a la información con la que se elaboró el presente informe.



Figura 1.2 Presentaciones efectuadas por los gobiernos a la Evaluación Mundial sobre el Mercurio – cobertura mundial



146. Si bien a la elaboración del presente informe aportó información un número relativamente grande de gobiernos, se tomará nota de que el volumen de la misma al alcance de cada uno de ellos varió considerablemente. Hubo gobiernos, especialmente los de los países que constituyen la OCDE, que disponen de inventarios en los que se documenta la producción de mercurio, su uso o sus liberaciones a lo largo de un cierto número de años, al tiempo que otros tienen una información muy limitada al respecto, a pesar de ser conscientes del empleo que del mercurio se hace en sus países.

### **1.3 Fuentes de la información con que se elaboró el presente informe**

147. Las fuentes de información utilizadas para elaborar el presente informe fueron, a saber:

- presentaciones facilitadas por gobiernos, organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales, así como por el sector privado, que se recibieron hasta el 2 de abril de 2002;
- otras publicaciones, artículos e informes pertinentes al mercurio que se determinaron buscando en los documentos científicos;
- otras informaciones, publicaciones e informes del dominio público situados en sitios Web de diversos gobiernos, organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales; y
- observaciones y adiciones facilitadas por los miembros constituyentes del Grupo de Trabajo de Evaluación Mundial sobre el Mercurio, tras distribuirse el primer proyecto del presente informe y durante el examen del proyecto revisado en la reunión de dicho grupo de trabajo que se celebró en Ginebra (Suiza) del 9 al 13 de septiembre de 2002.

148. En el texto del presente informe se incluyen, en la medida de lo posible, referencias a la información utilizada para su elaboración. De no figurar una referencia específica dada, podrá deducirse que emana de la presentación facilitada por el gobierno u organización específicos.

149. Dado el ingente volumen de informes, artículos, resúmenes, etcétera. que sobre el mercurio se presentó/recolectó, no fue posible examinar detenidamente toda la información que contenían en el plazo de tiempo del que se disponía. La información se seleccionó y jerarquizó por prioridades. Se prestó especial atención a la información específica de cada país que pudiera acrecentar la comprensión del uso y regulación del mercurio en el plano mundial, especialmente en lo que respecta a países que no pertenecen a la OCDE, así como a la información que pudiera acrecentar el conocimiento general de diversas cuestiones relativas al mercurio, basándose en los resultados de los más recientes e influyentes exámenes sobre tales cuestiones.

150. Puesto que el presente informe tiene por objeto facilitar una panorámica general resumida de cuestiones conexas al mercurio, no incluye grandes volúmenes de información pormenorizada que se ocupe de diversos aspectos, tal como información minuciosa sobre el uso y consumo de mercurio en el plano nacional. No obstante, esta información podría llegar a constituir una plataforma para el análisis y exámenes ulteriores pormenorizados, si llegara a decidirse posteriormente la continuación de las tareas.

### **1.4 Ámbito de aplicación y alcance del presente informe**

151. Si bien el presente informe lleva por título “Evaluación Mundial sobre el Mercurio”, realmente no se evalúa en él dicho metal en el estricto sentido de la palabra, es decir, el de juzgar o decidir el monto, valor, calidad, o importancia de algo (Cambridge Internacional Dictionary of English 1995). El presente informe no constituye un análisis científico del mercurio, de sus compuestos, ni de sus repercusiones en la salud del ser humano o el medio ambiente, ni de su transporte a grandes distancias por el mismo, ni constituye tampoco una evaluación en el plano mundial de los riesgos conexas al empleo y liberaciones del mercurio.

152. En el informe se tiende a que, por cada elemento determinado por el Consejo de Administración, se compile y facilite, en la medida de lo posible, una exposición general de las evaluaciones y estudios ya realizados y de las conclusiones a las que ya haya llegado la comunidad científica mundial, los gobiernos de cada nación, las organizaciones, etc., respecto de las diversas cuestiones conexas al mercurio. Si bien el presente informe no ha sido sometido a un análisis independiente entre pares, sí se

ha examinado extensamente en el Grupo de Trabajo de Evaluación Mundial sobre el Mercurio y se considera como un resumen útil de las conclusiones científicas actuales y de otros aspectos pertinentes al mercurio. El informe se inspira principalmente en análisis fiables de reciente publicación sobre diversos temas pertinentes al mercurio y se suplementa con información de carácter nacional. Puesto que una gran parte de los análisis ya publicados se centra en los países pertenecientes a la OCDE, en cuyo ámbito se está realizando el grueso de la investigación actual y ejecutando medidas tendentes a la reducción, se ha intentado determinar e incluir en el informe información pertinente de los países ajenos a la OCDE.

153. Dado que el presente informe intenta facilitar una panorámica mundial de las cuestiones conexas al mercurio en un número muy limitado de páginas, no es posible que en las mismas se recoja toda la información presentada por cada país. Sin embargo, se han elaborado algunas compilaciones que contienen información general de carácter nacional sobre ciertas cuestiones específicas, tal como las acciones reglamentarias, compilaciones que se actualizarán en un futuro si se estiman de utilidad.

154. Con el fin de facilitar la lectura, al principio de cada capítulo se presenta un reseña de sus aspectos principales. Además de todo ello, la sección que lleva por título “resumen del informe” y que se presenta al principio del mismo, constituye un resumen de la información que contienen cada uno de los capítulos. Al principio del informe se incluye también un resumen de sus conclusiones más importantes. Los lectores que lean el informe completo quizás observen un cierto grado de solapamiento en la información de algunas secciones. No obstante, ello se estimó necesario al considerarse que los lectores interesados en un tema específico quizás lean muchas de las secciones por separado.

155. El informe fue elaborado inicialmente por dos empresas de asesoría sobre el medio ambiente, la Consulting Engineers and Planners AS (COWI) de Dinamarca y la Concorde East/West de Bélgica, ejerciendo la primera como director del proyecto. Los principales contribuyentes de cada empresa fueron los señores Jakob Maag y Peter Masón, respectivamente. Ambos gozan de una amplia experiencia y han participado anteriormente en un cierto número de publicaciones sobre el mercurio, tanto en el plano nacional como en el internacional. En el marco del PNUMA Productos Químicos, la señora Aase Tuxen coordinó la labor y, junto con el señor Charles French, ambos contribuyeron a la elaboración del proyecto de informe, así como a su edición y acabado.

## 1.5 Objeto del presente informe

156. Como parte del proceso de ejecución de la decisión 21/5 del Consejo de Administración, el PNUMA constituyó un Grupo de trabajo que le sirviera de asistencia en los preparativos tendentes a los debates de dicho Consejo, al respecto de la cuestión planteada en su periodo de sesiones de febrero de 2003. El Grupo de Trabajo de Evaluación Mundial sobre el Mercurio que se constituyó fue de composición abierta y estuvo formado por miembros denominados por gobiernos, organizaciones intergubernamentales y organizaciones no gubernamentales. Los miembros del Grupo de trabajo prestaron su ayuda en la elaboración del proyecto del presente informe y en su acabado, presentando inicialmente observaciones por correo y, posteriormente, celebrando una reunión que tuvo lugar del 9 al 13 de septiembre de 2002 en Ginebra (Suiza).

157. El Grupo de trabajo examinó el proyecto de informe de la evaluación y convino en efectuar un cierto número de enmiendas y mejoras. Asimismo, determinó las conclusiones de importancia clave y dio los últimos toques con miras a presentarlo al Consejo de Administración. Basándose en las conclusiones clave que se recogen en el presente informe, el Grupo de trabajo convino en que, en su opinión, existía suficiente evidencia de repercusiones mundiales adversas de carácter significativo que exigían tomar medidas en el plano nacional para reducir los riesgos a la salud del ser humano y/o al medio ambiente que emanaba de las liberaciones de mercurio al mismo. El Grupo de trabajo convino en adoptar una reseña de las posibles opciones de las que se disponía para abordar las repercusiones adversas en todo el mundo provocadas por la liberación de mercurio en los planos local, nacional, regional y mundial. Por último, y a la luz de sus conclusiones sobre las repercusiones del mercurio, el Grupo de trabajo convino en que era necesario presentar ante el Consejo de Administración una serie de

posibles acciones de ejecución inmediata. Las conclusiones del Grupo de trabajo se reseñan en el capítulo 11 del presente informe.

158. El presente informe se remitirá al Consejo de Administración para que lo examine en su 22º período de sesiones. Tras iniciar la elaboración del presente informe de evaluación y la reseña de las opciones, el Consejo de Administración se encontrará en mejor posición para examinar la necesidad de tomar alguna medida de carácter internacional respecto del mercurio, con el fin de promover la gestión racional del mismo y de sus compuestos para con el medio ambiente. El informe de la evaluación servirá para acrecentar la concienciación y la comprensión de aquellos que tengan que tomar decisiones sobre las cuestiones más importantes relativas al mercurio y a sus compuestos, facilitando así la deliberación de dicha cuestión en el próximo periodo de sesiones del Consejo de Administración.

159. Los resultados de las deliberaciones sobre la cuestión llevadas a cabo por el Consejo de Administración durante su vigésimo segundo período de sesiones, podrán encontrarse en el sitio de la Evaluación Mundial sobre el Mercurio en la Web, <http://www.chem.unep.ch/mercury/> una vez se celebre el período de sesiones..

## 2. Química

### 2.1 Panorama general

160. El mercurio se da de manera natural en el medio ambiente y existe en una gran variedad de formas. Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura, se lo conoce como mercurio “elemental” o “metálico” (representado también como Hg(0) o Hg<sup>0</sup>). Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas. El mercurio puede enlazarse con otros compuestos como mercurio monovalente o divalente (representado como Hg(I) y Hg(II) o Hg<sup>2+</sup>, respectivamente). A partir del Hg(II) se pueden formar muchos compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio.

161. El mercurio elemental es un metal blanco plateado brillante, en estado líquido a temperatura ambiente, que normalmente se utiliza en termómetros y en algunos interruptores eléctricos. A temperatura ambiente, y si no está encapsulado, el mercurio metálico se evapora parcialmente, formando vapores de mercurio. Los vapores de mercurio son incoloros e inodoros. Cuanto más alta sea la temperatura, más vapores emanarán del mercurio metálico líquido. Algunas personas que han inhalado vapores de mercurio indican haber percibido un sabor metálico en la boca.

162. El mercurio se extrae como sulfuro de mercurio (mineral de cinabrio). A lo largo de la historia, los yacimientos de cinabrio han sido la fuente mineral para la extracción comercial de mercurio metálico. La forma metálica se refina a partir del mineral de sulfuro de mercurio calentando el mineral a temperaturas superiores a los 540° C. De esta manera se vaporiza el mercurio contenido en el mineral, y luego se captan y enfrían los vapores para formar el mercurio metálico líquido.

163. Algunos de los compuestos inorgánicos de mercurio son: sulfuro de mercurio (HgS), óxido de mercurio (HgO) y cloruro de mercurio (HgCl<sub>2</sub>). A estos compuestos también se les conoce como sales de mercurio. La mayoría de los compuestos inorgánicos de mercurio son polvos o cristales blancos, excepto el sulfuro de mercurio, que es rojo y se vuelve negro con la exposición a la luz. Algunas sales de mercurio (como el HgCl<sub>2</sub>) son lo bastante volátiles para existir como gas atmosférico. Sin embargo, la solubilidad en agua y reactividad química de estos gases inorgánicos (o divalentes) de mercurio hacen que su deposición de la atmósfera sea mucho más rápida que la del mercurio elemental. Esto significa que la vida atmosférica de los gases de mercurio divalentes es mucho más corta que la del gas de mercurio elemental.

164. Cuando el mercurio se combina con carbono se forman compuestos conocidos como compuestos “orgánicos” de mercurio u organomercuriales. Existe una gran cantidad de compuestos orgánicos de mercurio (como el dimetilmercurio, fenilmercurio, etilmercurio y metilmercurio), pero el más conocido de todos es el metilmercurio. Al igual que los compuestos inorgánicos de mercurio, el metilmercurio y el fenilmercurio existen como “sales” (por ejemplo, cloruro de metilmercurio o acetato de fenilmercurio). Cuando son puros, casi todos los tipos de metilmercurio y fenilmercurio son sólidos blancos y cristalinos. En cambio, el dimetilmercurio es un líquido incoloro.

165. Varias formas de mercurio se dan de manera natural en el medio ambiente. Las formas naturales de mercurio más comunes en el medio ambiente son el mercurio metálico, sulfuro de mercurio, cloruro de mercurio y metilmercurio. Ciertos microorganismos y procesos naturales pueden hacer que el mercurio en el medio ambiente pase de una forma a otra.

166. El mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en formas inorgánicas de mercurio, lo que abre una significativa vía para la sedimentación de mercurio elemental emitido.

167. El compuesto orgánico de mercurio más común que generan los microorganismos y procesos naturales a partir de otras formas es el metilmercurio. El metilmercurio es particularmente inquietante porque puede acumularse (bioacumulación y biomagnificación) en muchos peces de agua dulce y salada comestibles, así como en mamíferos marinos comestibles, en concentraciones miles de veces mayores que las de las aguas circundantes.

168. El metilmercurio puede formarse en el medio ambiente por metabolismo microbico (procesos bióticos), por ejemplo, por efecto de ciertas bacterias, así como por procesos químicos que no implican

a organismos vivos (procesos abióticos). Sin embargo, se suele considerar que su formación en la naturaleza se debe sobre todo a procesos bióticos. En la actualidad no se conocen fuentes antropógenas (generadas por seres humanos) directas de metilmercurio, aunque antiguamente las hubo. Sin embargo, y de forma indirecta, las liberaciones antropógenas contribuyen a los niveles de metilmercurio en el medio ambiente por su transformación a partir de otras formas. Un ejemplo de liberación directa de compuestos orgánicos de mercurio es el caso de envenenamiento por metilmercurio en Minamata en los años 1950, cuando se vertieron en esa bahía subproductos orgánicos de mercurio resultado de la producción industrial de acetaldehído. También se conocen casos de envenenamiento en Irak debido a que las semillas de trigo utilizado para preparar pan habían sido tratadas con recubrimiento fitosanitario a base de compuestos inorgánicos de mercurio. Hay, además, investigaciones recientes que demuestran que en los vertederos de desechos urbanos (Lindberg *et al.*, 2001) y las plantas de tratamiento de aguas residuales (Sommar *et al.*, 1999) pueden ocurrir liberaciones directas de metilmercurio, pero no se puede determinar todavía la importancia general de esta fuente.

169. Por tratarse de un elemento, el mercurio no se puede descomponer ni degradar en sustancias inofensivas. Durante su ciclo, el mercurio puede cambiar de estado y especie, pero su forma más simple es el mercurio elemental, de suyo nocivo para los seres humanos y el medio ambiente. Una vez liberado a partir de los minerales, o depósitos de combustibles fósiles y minerales yacientes en la corteza terrestre, y emitido a la biosfera, el mercurio puede tener una gran movilidad y circular entre la superficie terrestre y la atmósfera. Los suelos superficiales de la tierra, las aguas y los sedimentos de fondo se consideran los principales depósitos biosféricos de mercurio.

**En condiciones naturales, el mercurio se da en alguno de los siguientes estados:**

- Como vapor metálico y mercurio líquido/elemental;
- Unido a minerales que contienen mercurio (sólido);
- Como iones en solución o unido a compuestos iónicos (sales inorgánicas y orgánicas);
- Como complejos iónicos solubles;
- Como compuestos orgánicos no iónicos gaseosos o disueltos;
- Unido a partículas o materia orgánica o inorgánica mediante adsorción iónica, electrofílica o lipofílica.

**Importancia de la especiación del mercurio**

170. A las diversas formas de mercurio existentes (como vapor de mercurio elemental, metilmercurio o cloruro de mercurio) se las conoce como “especies”. Como se ha mencionado, los principales grupos de especies de mercurio son el mercurio elemental, y sus formas orgánicas e inorgánicas. La especiación es el término que se suele usar para representar la distribución de determinada cantidad de mercurio entre diversas especies.

171. La especiación desempeña un papel importante en la toxicidad y exposición al mercurio de organismos vivos. La especie influye, por ejemplo, en los siguientes aspectos:

- La disponibilidad física que determina la exposición –por ejemplo, si el mercurio está muy adherido a materiales absorbentes no puede pasar fácilmente al flujo sanguíneo;
- El transporte dentro del organismo hacia los tejidos en los que tiene efectos tóxicos –que pueda atravesar, por ejemplo, la membrana intestinal o la barrera hematoencefálica;
- Su toxicidad (debido, en parte, a lo que se mencionó anteriormente);
- Su acumulación, biomodificación, destoxicación en tejidos, así como su excreción;
- Su biomagnificación al ir subiendo de uno a otro nivel trófico de la cadena alimentaria (aspecto importante sobre todo en el caso del metilmercurio).

172. La especiación también incide en el transporte del mercurio dentro de cada compartimiento medioambiental y entre uno y otro, como la atmósfera y los océanos. Por ejemplo, la especiación es un factor determinante para la distancia que recorre el mercurio emitido en el aire desde su fuente de emisión. El mercurio adsorbido en partículas y compuestos de mercurio iónico (divalente) cae sobre todo en el suelo y el agua cercanos a las fuentes (distancias locales a regionales), mientras que el vapor

de mercurio elemental se transporta a escala hemisférica/mundial, lo que hace de las emisiones de mercurio una preocupación de alcance mundial. Otro ejemplo es la llamada "incidencia de reducción del mercurio en el amanecer polar", cuando se presenta una transformación de mercurio elemental en mercurio divalente debido a una mayor actividad solar y a la presencia de cristales de hielo, con lo que se observa un incremento sustancial en la deposición del mercurio durante un periodo de tres meses (de marzo a junio, aproximadamente).

173. Además, la especiación es muy importante para la capacidad de controlar las emisiones de mercurio en el aire. Por ejemplo, algunos instrumentos de control (como depuradores húmedos) captan razonablemente bien las emisiones de compuestos inorgánicos de mercurio, pero la mayoría de este tipo de instrumentos capta poco mercurio elemental.

## 2.2. Especies de mercurio y su transformación en la atmósfera

174. La química atmosférica del mercurio implica diversas interacciones:

- Reacciones en fase gaseosa;
- Reacciones en fase acuosa (en gotitas de niebla y nubes, y partículas de aerosol delicuescentes);
- Repartición de las especies de mercurio elemental y oxidado entre las fases gaseosa y sólida;
- Repartición entre las fases gaseosa y sólida, y también
- Repartición entre las fases sólida y acuosa en el caso de materia particulada insoluble recogida por las gotitas de agua de la niebla o las nubes.

175. La acción recíproca entre los procesos atmosféricos y la química del mercurio se describe en la figura 2.1. La especiación atmosférica cumple una importante función en el transporte de mercurio a larga distancia, así como en los mecanismos de deposición. El transporte atmosférico de mercurio se describe en el capítulo 6.

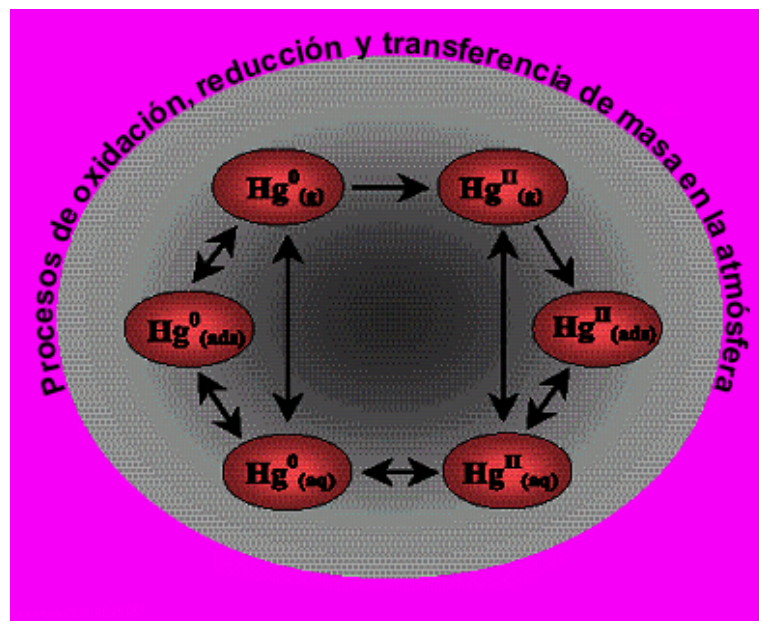


Figura 2.1 Modelo de las interacciones entre las especies de mercurio en la atmósfera (Frontispicio de la edición especial de 2001 de *Atmospheric Environment* (vol. 35, no. 17) dedicada a la investigación sobre el mercurio en Europa) (Pirrone et al., 2001a)

176. Desde la primera vez que se intentó seriamente modelar la química atmosférica y la especiación del mercurio en el marco de un modelo de caja troposférico fotoquímico, que incluía la química de la niebla y las nubes, así como de la materia particulada (Pleijel y Munthe, 1995), se ha medido un número

de otros parámetros de las reacciones atmosféricas del mercurio y se han publicado dos importantes estudios de la química atmosférica (Schroeder y Munthe, 1998; Lin y Pekkonen, 1999).

177. La determinación de la constante de velocidad de reacción del  $\text{Hg}(0) + \text{OH}$  (radical hidroxilo) en la fase gaseosa (Sommar *et al.*, 2001; Ariya *et al.*, 2002) y las muy recientes mediciones de la constante de velocidad de átomos de  $\text{Hg}^+$  haluro (Ariya *et al.*, 2002) han mostrado que la oxidación del mercurio elemental (que antes se pensaba que ocurría sobre todo en la fase acuosa y sólo muy lentamente en la fase gaseosa como resultado de la reacción con el  $\text{O}_3$ ) de hecho ocurre de manera relativamente rápida y las estimaciones de la vida atmosférica del mercurio elemental se han tenido que reducir de alrededor de un año a cuestión de meses. La tasa de oxidación del mercurio elemental es fundamental para la química del mercurio atmosférico porque los compuestos de mercurio oxidado (tales como  $\text{HgO}$  y  $\text{HgCl}_2$ ) que se producen son más solubles (y, por lo tanto, son recogidos con mayor rapidez por las nubes), menos volátiles (y, por lo tanto, recogidos con mayor rapidez por las partículas) y tienen una mayor velocidad de deposición. Por lo tanto, la oxidación puede aumentar los flujos de deposición seca y húmeda y también la deposición que se realiza por medio de la materia particulada. El mercurio oxidado también se puede reducir a mercurio elemental en las gotitas de la atmósfera, limitando de este modo la tasa general de oxidación y deposición. La descripción cuantitativa de estos procesos lleva asociado cierto grado de incertidumbre (Munthe *et al.*, 1991).

178. Petersen *et al.* (1998) han representado una versión simplificada de la química del mercurio atmosférico en un modelo meteorológico y de dispersión de escala regional. Si bien tal modelo puede dar una idea razonable del transporte y la deposición del mercurio, las recientes constataciones mencionadas en el párrafo anterior acerca de la reacción del mercurio elemental tanto con radicales hidroxilo como con haluros indican que es necesario incorporar esas reacciones en el modelo a fin de mejorar su exactitud. La reacción con el hidroxilo ha sido incluida en un Modelo de Transporte Químico (Bergan y Rohde, 2001); sin embargo, los resultados sugieren que posiblemente la constante de velocidad de Sommar *et al.* (2001) sea demasiado elevada, mientras que los resultados publicados recientemente por Ariya *et al.* (2002) llevan a pensar que quizá sea demasiado baja. Es evidente que, si los procesos de oxidación atmosférica son más rápidos de lo que se pensaba, para que la concentración hemisférica de fondo permanezca tan estable, la emisión (o re-emisión de  $\text{Hg}(0)$  – muy probablemente procedente del mar – debe de ocurrir también a una velocidad mayor de lo que se suponía anteriormente.

179. La química troposférica del mercurio se ha discutido mucho en los últimos cuatro o cinco años desde la publicación de los resultados de mediciones a largo plazo efectuadas en el Ártico (Shroeder *et al.*, 1998) donde, al mismo tiempo que los episodios de agotamiento del ozono troposférico observados periódicamente después de un amanecer polar, la concentración de  $\text{Hg}(0)$  disminuyó hasta llegar a un 10-20% de su valor característico en un período de tres o cuatro días. Desde entonces, este fenómeno ha sido confirmado por otras mediciones de la concentración de  $\text{Hg}(0)$ , y también de compuestos de mercurio oxidado en fase gaseosa (Lindberg *et al.*, 2002a) y mercurio asociado con materia particulada (Lu *et al.*, 2001). También se ha visto agotamiento del mercurio en la Antártida (Ebinghaus *et al.*, 2002). Los resultados son congruentes con la oxidación de  $\text{Hg}(0)$  en fase gaseosa, probablemente por átomos de halógenos o radicales que contienen halógenos (Boudries y Bottenheim, 2000), y la condensación subsiguiente en partículas o deposición en la reserva de nieve acumulada. Naturalmente, este fenómeno ha causado preocupación por los efectos toxicológicos que el aumento del aporte de mercurio pueda tener en un ecosistema frágil en momentos en que la actividad biológica se intensifica tras la larga noche polar.

180. Otra región de mucho interés en relación con la química troposférica del mercurio es la Capa Límite Marina (CLM; es decir, el aire que se encuentra directamente sobre la superficie del mar). Diversos estudios realizados en proyectos europeos han mostrado que las concentraciones de mercurio oxidado son tan altas en la zona del Mediterráneo como en las zonas más industriales del norte de Europa (Pirrone *et al.*, 2001b; Wangberg *et al.*, 2001, edición especial de Atmospheric Environment). Ese hecho es otro ejemplo de cómo ha cambiado la opinión general acerca de la química atmosférica del mercurio en los últimos años. En cierto momento, se suponía que la mayor parte o todo el mercurio oxidado gaseoso era emitido directamente de fuentes industriales y que, dada su solubilidad y mayor velocidad de deposición, no podía estar muy lejos de esas fuentes. Por esa razón, no se esperaba

encontrar esos compuestos en pleno Mediterráneo en condiciones anticiclónicas en que el desplazamiento es insignificante (Sprovieri *et al.*, 2002).

181. Diversos estudios de modelación de la química del mercurio en la CLM efectuados recientemente llevan a pensar que los aerosoles de sales marinas desempeñan un importante papel en el ciclo del mercurio (Hedgecock y Pirrone, 2001; Hedgecock *et al.*, 2002). Los aerosoles de sales marinas delicuescentes presentes en la CLM proporcionan tanto una fase de captación de los compuestos de mercurio oxidado resultantes de la oxidación de Hg(0) en fase gaseosa como un suministro casi ilimitado de iones cloruro con los que el mercurio puede formar complejos en fase acuosa que se traducen en altas concentraciones de Hg(II) en solución (Pirrone *et al.*, 2000). Hecho interesante, muchos de los cambios bruscos en la fotoquímica troposférica que se ven en el amanecer polar se repiten cada día en la CLM a menor escala, como lo muestra el reciente descubrimiento de la destrucción del ozono en la CLM a la salida del sol (Nagao *et al.*, 1999). Por lo tanto, lo más probable es que todos los días tengan lugar en la CLM las mismas reacciones que producen los episodios de agotamiento del mercurio en los polos; de ahí la presencia de considerables concentraciones de mercurio oxidado en dicha capa. La variación diurna de las concentraciones de compuestos de Hg(II) (Sprovieri *et al.*, 2002; Hedgecock *et al.*, 2002) muestra que la oxidación es más lenta por la noche y también que la deposición elimina constantemente esos compuestos de la atmósfera y, por consiguiente, el mercurio se debe reponer ya sea a partir del mar o de la tropósfera libre a más o menos la misma velocidad.

182. Axenfeld *et al.* (1991, según citado por Pirrone *et al.*, 2001) llegaron a la conclusión de que hasta 60% de las emisiones antropógenas en Europa estaban en la forma gaseosa elemental, 30% como mercurio gaseoso divalente y 10% como mercurio elemental sobre partículas.

183. La mayor parte de las emisiones provenientes de la quema de combustibles (importante fuente de emisiones) tienen lugar en la fase gaseosa. En la zona de combustión, el mercurio contenido en el carbón y otros combustibles fósiles se convierte térmicamente en la forma elemental. Mientras se encuentra en los gases de combustión, una parte se puede oxidar, dependiendo de la presencia de constituyentes oxidantes tales como el cloro. La forma oxidada puede ser retenida en los sistemas modernos de limpieza de gases de combustión. Los incineradores de desechos generan emisiones de mercurio en un proceso similar, pero se supone que producen una mayor cantidad de la forma oxidada porque los desechos contienen más cloro que los combustibles fósiles (AMAP, 1998).

184. La tabla 2.1 presenta un panorama de la especiación de emisiones de los principales tipos de fuentes antropogénas. Fue preparada por Pirrone *et al.* (2001).

Tabla 1.1 Perfiles de emisión (fracción del total) de mercurio de fuentes antropógenas, 1995 (tabla de Pirrone *et al.*, 2001).

Especies	Centrales eléctricas de carbón	Calafacción doméstica de carbón	Combustión de fuelóleo	Producción de cemento	Producción de metales no ferrosos	Producción de hierro en lingotes	Industria cloroalcalina	Incineración de desechos	Otros	Promedio de todas las fuentes	Fuente de información
Hg <sup>0</sup> (gas)	0,5	0,5	0,5	0,8	0,6	0,8	0,7	0,2	0,8	0,64	Pacyna <i>et al.</i> , 2000
Hg(II)	0,4	0,4	0,4	0,15	0,3	0,15	0,3	0,6	0,15	0,285	Modificado por Pacyna, 1998
Hg (partic.)	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05	0	0,2	0,05	0,075	

185. Diversos estudios sobre la vigilancia de fuentes industriales realizados recientemente en los Estados Unidos muestran perfiles de emisión que difieren de las fracciones presentadas en esta tabla. En la producción de cloro y soda cáustica (producción cloroalcalina a base de mercurio), los estudios



estadounidenses mostraron que una fracción considerablemente mayor de mercurio se emite en forma de Hg<sup>0</sup> gaseoso. Con respecto a la incineración de desechos, esos estudios indicaron que casi todas las emisiones de mercurio están en forma de Hg(II) gaseoso y proceden de incineradores de desechos médicos. Asimismo, se determinó que las emisiones directas de mercurio particulado de la mayoría de las fuentes industriales son insignificantes, como mucho un pequeño porcentaje. Sin embargo, una fracción considerable de las emisiones gaseosas de Hg(II) se puede adsorber a la materia particulada de la atmósfera. El *US EPA Technical Report EPA/600/R-00/102* contiene información actualizada sobre la especiación de las emisiones de mercurio procedentes de la incineración de desechos y la producción de cemento. Asimismo, se encontrará información actualizada sobre la combustión de carbón en la literatura científica y algunos nuevos informes de la EPA/DOE (véase Prestbo y Bloom, 1995). El *US EPA Technical Report EPA/600/R-02-007a* trae información actualizada sobre las emisiones de fábricas de cloro y álcalis.

## 2.3 Especies de mercurio y su transformación en medios acuáticos

186. El metilmercurio se puede formar en el medio ambiente por metabolismo microbiano (procesos bióticos); por ejemplo, por efecto de ciertas bacterias, así como por procesos químicos que no implican a organismos vivos (procesos abióticos). Una gran variedad de factores ambientales influyen en la formación de metilmercurio en los sistemas acuáticos. La eficiencia de la metilación microbiana del mercurio en general depende de factores tales como la actividad microbiana y la concentración de mercurio biodisponible (más que del depósito total de mercurio), en los que a la vez inciden parámetros tales como la temperatura, el pH, el potencial redox y la presencia de agentes complejantes orgánicos e inorgánicos (Ullrich *et al.*, 2001).

187. Ciertas bacterias también desmetilan el mercurio y esa tendencia aumenta con el aumento de los niveles de metilmercurio, creando algunas limitaciones naturales a la acumulación de ese compuesto (Marvin-Dipasquale *et al.*, 2000, Bailey *et al.*, 2001). Como pueden ocurrir tanto procesos de metilación como de desmetilación, las concentraciones ambientales de metilmercurio reflejan la metilación neta en vez de las tasas reales de síntesis de metilmercurio. Se conocen numerosas cepas bacterianas capaces de desmetilar el metilmercurio, entre ellas especies aeróbicas y anaeróbicas, pero la desmetilación parece que la realizan sobre todo organismos aeróbicos. La desmetilación bacteriana ha sido demostrada tanto en los sedimentos como en la columna de agua de lagos dulceacuícolas. Se ha descrito también la degradación de metil y fenilmercurio por algas de agua dulce (Ullrich *et al.*, 2001).

188. La metilación puramente química de mercurio también es posible si están presentes donantes de metilo apropiados. Aún no se ha establecido la importancia relativa de los mecanismos de metilación abióticos y bióticos en el medio acuático natural, pero en general se cree que la metilación del mercurio es un proceso mediado predominantemente por microbios (Ullrich *et al.*, 2001). Para más detalles sobre la metilación del mercurio en el medio acuático y los factores que lo afectan, véase el reciente estudio de Ullrich *et al.* (2001).

189. El metilmercurio es la especie de mercurio que predomina en los peces. En un estudio general actualizado sobre el mercurio, la *US EPA* afirma que en la mayoría de los peces adultos, 90 a 100% del contenido de ese metal se encuentra en forma de metilmercurio (US EPA, 2001a). En consecuencia, la *US EPA* recomienda que, en la evaluación (estatal) del riesgo de consumir pescado local, se utilicen análisis químicos de mercurio total, que son más baratos, y que los resultados se apliquen como si el 100% del mercurio presente estuviera en forma de metilmercurio, a fin de proteger al máximo la salud humana.

190. Mason y Fitzgerald (1996; 1997) han examinado aspectos del ciclo del mercurio en océanos y otras masas de agua. Según estudios sobre aguas oceánicas abiertas, es evidente que el mercurio elemental, el dimetilmercurio y, en menor grado, el metilmercurio son constituyentes comunes del depósito de mercurio disuelto de las aguas oceánicas profundas. En las aguas abiertas superficiales de los océanos, no hay dimetilmercurio, quizá porque se descompone en presencia de la luz y, además, porque posiblemente se evapore de la superficie del agua. Los últimos resultados llevan a pensar que no es necesario que la concentración de oxígeno sea baja para que se forme dimetilmercurio en las aguas abiertas de los océanos.

191. Esas aguas se diferencian de las de los lagos templados, donde el metilmercurio es más común que el dimetilmercurio. Estudios realizados en medios dulceacuícolas y estuarinos han mostrado que la metilación del mercurio tiene lugar principalmente en condiciones de baja concentración de oxígeno y la realizan principalmente bacterias reductoras de sulfatos. En ese caso, el metilmercurio es el producto de la metilación de mercurio iónico. La figura 2.2 muestra un diagrama de las principales reacciones del mercurio en el océano.

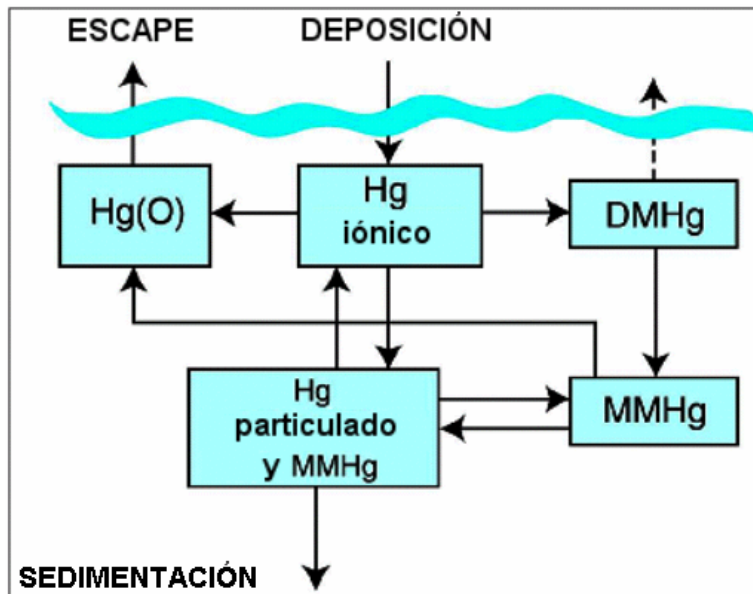


Figura 2.2 Interacciones entre las diversas especies de mercurio en aguas oceánicas (según Mason y Fitzgerald, 1996). Hg(0) = mercurio elemental, DMHg = dimetilmercurio, MMHg = (mono)metilmercurio

## 2.4 Especies de mercurio y su transformación en suelos

192. Las condiciones del suelo generalmente son favorables a la formación de compuestos inorgánicos y orgánicos, que forman complejos con aniones orgánicos. El comportamiento complejante controla en gran medida la movilidad del mercurio en el suelo. Gran parte del mercurio que se encuentra en el suelo está unido a la masa de materia orgánica y puede ser lixiviado por la escorrentía sólo cuando se encuentra unido a humus o suelo en suspensión.

193. Por esas razones, el mercurio tiene un largo tiempo de permanencia en el suelo y, por lo tanto, el mercurio acumulado en el suelo se puede seguir liberando a las aguas de superficie y otros medios durante largos períodos de tiempo, posiblemente cientos de años (Pirrone *et al.*, 2001).

194. Como se explica en el capítulo 5, las conclusiones de los trabajos realizados en Suecia llevan a pensar que el mercurio se ha acumulado en suelos orgánicos de los bosques en concentraciones que posiblemente reduzcan la actividad microbiana y, por lo tanto, la base de la cadena alimentaria terrestre.

### 3. Toxicología

#### 3.1 Panorama general

195. La toxicidad del mercurio depende de su forma química y, por lo tanto, los síntomas y signos varían según se trate de exposición al mercurio elemental, a los compuestos inorgánicos de mercurio, o a los compuestos orgánicos de mercurio (en particular los compuestos de alquilvercurio como sales de metilvercurio y etilvercurio, y el dimetilvercurio). Las fuentes de exposición también varían notablemente de una a otra forma de mercurio. En cuanto a los compuestos de alquilvercurio, de los cuales el metilvercurio es, con mucho, el más importante, la fuente de exposición más significativa es la dieta, particularmente la dieta a base de pescados y mariscos. En el caso del vapor de mercurio elemental, la fuente más importante para la población en general son las amalgamas dentales, pero a veces la exposición en el ambiente de trabajo puede ser muchas veces mayor. En lo que respecta a compuestos inorgánicos de mercurio, los alimentos constituyen la fuente más importante para la mayoría de la gente. Sin embargo, para ciertos segmentos de la población, el uso de cremas y jabones a base de mercurio para aclarar la piel, y el uso de mercurio con propósitos culturales/rituales o en medicina tradicional, también puede conducir a la exposición a mercurio inorgánico o elemental.

196. Aunque es bien sabido que el mercurio y sus compuestos son sustancias sumamente tóxicas cuyos efectos potenciales deben ser detenidamente estudiados, el grado de toxicidad de estas sustancias, sobre todo la del metilvercurio, está actualmente en discusión. Las investigaciones de la última década muestran que los efectos tóxicos pueden generarse a concentraciones más bajas, y que podrían afectar a más población mundial de lo que se había pensado. Como los mecanismos de ciertos efectos tóxicos sutiles – y la demostración de su existencia – son cuestiones sumamente complejas, todavía no se ha llegado a comprender en su totalidad este problema.

#### **Metilvercurio**

197. Entre los compuestos orgánicos de mercurio, el metilvercurio ocupa un lugar especial porque mucha población está expuesta a él, y sus efectos tóxicos están mejor caracterizados que los de otros compuestos orgánicos de mercurio. Se considera que, dentro del grupo de los compuestos orgánicos de mercurio, los compuestos de alquilvercurio (en particular, etilvercurio y metilvercurio) son similares en toxicidad (además, ambos han sido utilizados como plaguicidas). En cambio, otros compuestos orgánicos de mercurio, como el fenilvercurio, se asemejan más al mercurio inorgánico en sus efectos tóxicos.

198. El metilvercurio es un neurotóxico muy bien documentado, que puede provocar efectos perjudiciales particularmente en el cerebro en formación. Además, este compuesto traspasa con facilidad la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica; por eso es muy preocupante la exposición durante el embarazo. Asimismo, algunos estudios indican que incluso un pequeño aumento en la exposición al metilvercurio puede causar efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular y un incremento en la mortalidad. Considerando la importancia de las enfermedades cardiovasculares en todo el mundo, estos resultados, aunque no estén confirmados, sugieren que las exposiciones al metilvercurio requieren más atención y un seguimiento adicional. Además, basándose en su evaluación general, el Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (*International Agency for Research on Cancer*, IARC, 1993) considera que los compuestos de metilvercurio pueden ser carcinógenos para los seres humanos (grupo 2B).

#### **Mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio**

199. La vía principal de exposición al mercurio elemental es por inhalación de sus vapores. Cerca del 80% de los vapores inhalados es absorbido por los tejidos pulmonares. Este vapor también penetra con facilidad la barrera de sangre del cerebro y su neurotoxicidad está bien documentada. La absorción intestinal de mercurio elemental es baja. El mercurio elemental puede oxidarse en los tejidos corporales a la forma divalente inorgánica.

200. Se han observado trastornos neurológicos y de comportamiento en seres humanos tras inhalación de vapor de mercurio elemental. Algunos de los síntomas son: temblores, labilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, cambios en el sistema neuromuscular y dolores de cabeza. Se han

observado asimismo efectos en el riñón y la tiroides. Las exposiciones altas también han ocasionado mortalidad. En cuanto a carcinogenicidad, la evaluación general del *IARC* (1993) concluye que el mercurio metálico y los compuestos inorgánicos de mercurio no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad para los seres humanos (grupo 3). Por consiguiente, los efectos neurotóxicos, como la inducción de temblores, podrían constituir el efecto crítico que sirva de base para la evaluación de riesgos. También deberían considerarse los efectos en riñones (conducto renal), pues son el punto de destino crítico en lo que a exposición a compuestos inorgánicos de mercurio se refiere. Puede que el efecto sea reversible, pero como la exposición de la población general tiende a ser continua, el efecto puede seguir siendo relevante.

### Resumen de los niveles de efectos

201. Este capítulo describe brevemente los diferentes efectos adversos que el mercurio elemental, sus compuestos inorgánicos y el metilmercurio tienen en la salud humana. Para poner en perspectiva el nivel de exposiciones al metilmercurio, la dosis de referencia (DdR) estimada por el Consejo Nacional de Investigación (National Research Council, NRC, 2000) de los Estados Unidos para el efecto perjudicial más comúnmente aceptado como no letal (efectos en el desarrollo neuronal) es de 58 microgramos por litro (mg/l) de mercurio total en sangre del cordón umbilical (o de 10 microgramos por gramo (mg/g) de mercurio total en el pelo de la madre), según datos del estudio de las Islas Faroe sobre exposiciones de seres humanos al mercurio (Grandjean *et al*, 1997). Este valor de DdR es el límite inferior de confianza, de 95%, para el nivel de exposición que hace que se duplique una prevalencia de 5% en la disfunción neurológica (retrasos en el desarrollo de la atención, memoria verbal y lenguaje) en niños expuestos in-utero según el estudio de las Islas Faroe. Éstos son los niveles en tejidos que se estimaron a partir de una ingesta diaria promedio de aproximadamente 1 mg de metilmercurio por kilogramo de peso corporal al día (1 mg/kg de peso corporal por día).

202. Se han detectado otros efectos perjudiciales en seres humanos, pero con menos fiabilidad o a exposiciones mucho mayores. En cuanto al metilmercurio, se han observado efectos en el sistema nervioso adulto, enfermedades cardiovasculares, en la incidencia de cáncer y en la genotoxicidad. Además, se han detectado efectos en la variabilidad del ritmo cardíaco y en la presión sanguínea en niños de siete años de edad con exposición prenatal así como en la mortalidad cardiovascular en adultos. En el caso del mercurio elemental y los compuestos inorgánicos de mercurio, se han observado los siguientes efectos: en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, enzimas asociadas con el funcionamiento de la tiroides, en los índices de abortos espontáneos, genotoxicidad, sistema respiratorio, sistema (digestivo) gastrointestinal, hígado, sistema inmunológico y la piel. En el capítulo 4 se examinan varias evaluaciones detalladas que se han hecho de la respuesta como función de la exposición. Como este informe sólo presenta un resumen de la toxicidad del mercurio, los estudios en que se basó la presentación no se han revisado en las referencias originales para citarlos correctamente en la preparación de este informe.

### Consideraciones relativas a la alimentación

203. En muchas **partes** del mundo, el pescado es un elemento importantísimo de la dieta humana, y proporciona nutrientes (proteínas y ácidos grasos omega-3, entre otros) difícilmente sustituibles. El mercurio representa una amenaza importante para esta alimentación. Ciertamente, en igualdad de demás factores, el pescado con niveles bajos de metilmercurio es intrínsecamente más saludable para los consumidores que el pescado con niveles más altos de metilmercurio.

204. Hay escasas pruebas de laboratorio que sugieren que algunos componentes dietarios pueden reducir (por ej., selenio, vitamina E, ácidos grasos omega-3) o incrementar (por ej., alcohol) la toxicidad del mercurio para algunos puntos de destino. Sin embargo, por ahora no se pueden extraer conclusiones de los datos existentes.

### Explicación de algunos de los términos médicos utilizados en este capítulo

**Albuminuria:** La albuminuria es una forma de proteinuria.

**Anemia:** Afección en la cual el número de glóbulos rojos por unidad de volumen de sangre es inferior al normal, lo cual disminuye la capacidad de la sangre para transportar oxígeno.

**Ataxia cerebelosa:** Ataxia (véase más arriba) debida a una enfermedad del cerebelo.

**Ataxia:** Falta de coordinación o firmeza muscular debida a la incapacidad del cerebro para regular la postura del cuerpo y la fuerza y dirección de los movimientos de las extremidades.

**Atrofia del cerebro:** Disminución, pérdida o desmedro del cerebro.

**Cardiopatía isquémica:** Enfermedad del corazón debida a anemia local.

**Cavidades quísticas y focos esponjosos:** Anormalidad de los tejidos que consiste en huecos y zonas esponjosas.

**Cerebrovascular:** Relacionado con los vasos sanguíneos del cerebro.

**Creatinina:** Molécula de desecho que se genera en el metabolismo del músculo y se excreta en la orina. La concentración de creatinina en el suero se utiliza para evaluar la función de los riñones. Las concentraciones de mercurio medidas en muestras de orina a veces se presentan en función del contenido de creatinina de la misma muestra de orina ( $\mu\text{g}$  de mercurio/g de creatinina) – en vez del volumen de orina ( $\mu\text{g}$  de mercurio/l) – para no tener en cuenta las variaciones en el contenido de agua de la orina.

**Disartria:** Lenguaje característicamente indistinto, lento, articulado con dificultad (y difícil de comprender). La persona con disartria puede tener también problemas para controlar el tono, volumen, ritmo y cualidades de la voz en su lenguaje.

**Efecto cardiovascular:** Efecto en el aparato circulatorio, que comprende el corazón y los vasos sanguíneos.

**Efecto neoplásico:** Efecto de crear nuevas células que crecen autónomamente. Un neoplasma es un crecimiento nuevo y anormal de tejido, que puede ser benigno o maligno (canceroso).

**Estomatitis:** Infección de la membrana mucosa (interior) de la boca.

**Glomerulonefritis:** Tipo de nefritis (inflamación del riñón) que se caracteriza por inflamación de las asas capilares de los glomérulos renales (el glomérulo es la unidad funcional del riñón).

**Isquemia:** Anemia local debida a un impedimento del suministro de sangre (por ejemplo, estrechamiento de las arterias).

**Micronúcleos de los linfocitos periféricos:** Núcleo pequeño de los glóbulos blancos periféricos.

**Nefritis:** Inflamación de los riñones.

**Nefrosis:** Enfermedad no inflamatoria ni neoplásica del riñón.

**Neumonitis intersticial:** Forma de neumonía que involucra los tejidos intersticiales (tejido conectivo) del pulmón.

**Neumonitis:** Inflamación de los pulmones secundaria a una infección vírica o bacteriana.

**Neuropatía periférica:** Degeneración de los nervios periféricos (todos los nervios menos el cerebro y la médula espinal).

**Parestesia:** Sensación anormal, tal como ardor, escozor, hormigueo o entumecimiento, que no parece tener ninguna causa objetiva.

**Presión sanguínea diastólica y sistólica:** La presión diastólica es la que ejerce la sangre cuando el corazón se agranda (dilata) y llena de sangre. La presión sistólica es la que ejerce la sangre cuando el corazón se contrae. (Una presión sanguínea de 140/90 significa que la presión sistólica es de 140 y la diastólica, de 90).

**Proteinuria glomerular:** Proteinuria (véase más abajo) debida a la disfunción de glomérulos renales (unidades del riñón).

**Proteinuria tubular:** Presencia de proteína en la orina en cantidad mayor que la normal, debido a una disfunción de los túbulos renales.

**Proteinuria:** Presencia de un exceso de proteína en la orina (la excreción normal es de 150 mg de proteína por día).

**Síndrome nefrítico/nefrótico:** Enfermedad del riñón que produce inflamación del glomérulo (la parte del riñón que filtra la sangre). Tipo de nefritis que se caracteriza por disminución de la albúmina sérica, presencia de un exceso de proteína en la orina e hinchazón (edema).

**Taquicardia:** Ritmo cardíaco rápido, generalmente mayor que 100 latidos por minuto.

**Túbulo renal:** Pequeñas estructuras del riñón que filtran la sangre y producen la orina.

### 3.2 Metilmercurio

205. Aunque el tema principal de esta sección es el metilmercurio, se hacen también algunas observaciones sobre otros compuestos orgánicos de mercurio.

206. El compuesto que más se ha estudiado en las investigaciones toxicológicas de los últimos años es el metilmercurio. Como otros compuestos de alquimercurio, la toxicidad del metilmercurio es mucho mayor que la de los compuestos inorgánicos de mercurio. El metilmercurio es un potente neurotóxico; por lo tanto, la exposición de los seres humanos a este compuesto es claramente indeseable y debería ser motivo de preocupación. Está presente en todo el mundo en los peces y mamíferos marinos que consumen los seres humanos. El metilmercurio se forma naturalmente (a partir del mercurio de liberaciones antropógenas y naturales) por la actividad biológica que tiene lugar en medios acuáticos. Se biomagnifica en la cadena alimentaria, apareciendo en concentraciones mucho más altas en mamíferos y peces superiores depredadores que en el agua y organismos inferiores. La mayor parte de las concentraciones de mercurio total en los peces se encuentra en forma de metilmercurio (cerca de 100% en los peces más viejos). El metilmercurio también se ha utilizado deliberadamente como plaguicida/biocida (por ejemplo, en el tratamiento de granos de semilla) y ese uso provocó graves casos de envenenamiento en Iraq antes de 1960 y nuevamente a principios de la década de 1970 (US EPA, 1997).

207. El consumo de pescado y mamíferos marinos contaminados es la causa más importante de exposición de los seres humanos al metilmercurio (WHO/IPCS, 1990; US EPA, 1997). Las concentraciones más altas se encuentran en peces depredadores de gran tamaño, como el tiburón, caballa gigante (carite lucio), pez espada y algunas especies de atún grande (que hay que distinguir del atún más pequeño que generalmente se utiliza para conserva), así como algunos peces de agua dulce como el lucio, lucioperca americana, lobina, perca y anguila, y mamíferos como focas y ballenas. Debido a las corrientes oceánicas y al transporte de emisiones atmosféricas a larga distancia, el metilmercurio también está presente en el medio ambiente lejos de las fuentes de mercurio locales y regionales. Esto supone que los grupos de población particularmente dependientes de alimentos marinos o acostumbrados a ellos, tales como los inuits del Ártico, así como las poblaciones que dependen del consumo de pescado de agua salada o dulce en cualquier parte del mundo, se encuentran particularmente en riesgo debido a la exposición al metilmercurio.

208. El metilmercurio es sumamente tóxico y ataca principalmente el sistema nervioso. En adultos, los efectos más precoces son síntomas no específicos, tales como parestesia, malestar y visión borrosa; con una mayor exposición, aparecen signos tales como una constricción concéntrica del campo visual, sordera, disartria, ataxia y, por último, coma y muerte (Harada, 1995). El sistema nervioso central en desarrollo es más sensible al metilmercurio que el del adulto. En niños de corta edad expuestos a niveles elevados de metilmercurio durante el embarazo de la madre, el cuadro clínico puede ser imposible de distinguir del de la parálisis cerebral causada por otros factores, presentándose principalmente con microcefalia, hiperreflexia, discapacidad mental y trastornos de la función motora gruesa, a veces asociados con ceguera o sordera (Harada, 1995; Takeuchi y Eto, 1999). En los casos más leves, los efectos pueden aparecer más tarde en el desarrollo en forma de discapacidad psicomotora y mental, y reflejos patológicos persistentes (WHO/IPCS, 1990; NRC, 2000). Los estudios realizados en una población expuesta al metilmercurio contenido en el pescado sugieren también una relación con el aumento de la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Salonen *et al.*, 1995, Rissanen *et al.*, 2000). Diversos trabajos de investigación hechos con animales prueban su genotoxicidad y efectos en el sistema inmunitario y el aparato reproductor.

209. Una parte considerable del texto descriptivo de esta sección se basa en Pirrone *et al.* (2001) y, en menor medida, en el informe del Consejo Nórdico de Ministros (Nordic Council of Ministers; sub84gov). Pirrone *et al.* (2001), mencionan que su presentación se basó en gran parte en estudios anteriores efectuados por la OMS (WHO/IPCS 1990; 1991), IARC (IARC, 1993) y la US EPA (US EPA 1997; 2001b).

### 3.2.1 Efectos neurológicos

210. En las evaluaciones autorizadas más recientes de los efectos toxicológicos del metilmercurio (WHO/IPCS, 1990; NRC, 2000), se llegó a la conclusión de que los efectos en el sistema nervioso en el desarrollo del feto y el recién nacido son los más sensibles y bien documentados a juzgar por las pruebas aportadas por estudios en seres humanos y animales. Tales efectos pueden aparecer aún a niveles de exposición en que la madre (a través de la cual el niño recibe el mercurio) conserva la salud o sufre sólo síntomas menores (WHO/IPCS, 1990; Davis *et al.*, 1994, citado por Pirrone *et al.*, 2001).

211. El metilmercurio que se encuentra en los alimentos se absorbe rápidamente en el tracto gastrointestinal y llega fácilmente al cerebro. De los episodios de envenenamiento por metilmercurio ocurridos en Japón e Iraq se sabe que los efectos más graves se producen en el desarrollo del cerebro y el sistema nervioso del niño en gestación (feto), pero también se observaron efectos graves en adultos. Una serie de grandes estudios epidemiológicos han mostrado recientemente que el metilmercurio de la dieta de mujeres embarazadas constituida por productos marinos – aunque el mercurio se encuentre en concentraciones bajas (alrededor de 1/10 - 1/5 de las concentraciones que producen efectos observados en adultos) – parece surtir efectos sutiles y persistentes en el desarrollo mental de los niños, que se observan desde el comienzo de la edad escolar (los llamados déficits cognitivos; NRC, 2000).

212. La población de las Islas Faroe fue expuesta a metilmercurio procedente principalmente de carne de calderón, que contenía una concentración relativamente alta de ese compuesto, alrededor de 2 mg/kg (US EPA, 2001b). El estudio de unos 900 niños de dichas islas mostró que la exposición prenatal a metilmercurio produjo déficits neuropsíquicos a los 7 años de edad (Grandjean *et al.*, 1997). Las funciones del cerebro más vulnerables parecen ser la atención, la memoria y el lenguaje, mientras que la rapidez motora, la función visioespacial y las funciones de ejecución mostraron disminuciones menos marcadas con mayores exposiciones al mercurio. La concentración de mercurio en sangre del cordón umbilical parecía ser el mejor indicador de riesgos de efectos adversos, que aparentemente sólo eran levemente afectados por el gran número de covariables examinadas. Se expresó una preocupación particular por el impacto de los bifenilos policlorados (BPC), que estaban presentes en la dieta (grasa de cetáceo) de las madres de las Islas Faroe. Sin embargo, los resultados prácticamente no cambiaron cuando se tuvieron en cuenta los niveles de BPC, pero una mayor exposición prenatal al metilmercurio aparentemente aumentó la toxicidad de los BPC (Grandjean *et al.*, 2001). Se estableció una relación significativa entre retrasos en el desarrollo y niveles de exposición al metilmercurio, aún cuando se excluyó a los niños cuyas madres tuvieran concentraciones de mercurio en el pelo superiores a 10 mg/g. Dentro de la gama de exposiciones de bajo nivel, cada duplicación del nivel de exposición prenatal al metilmercurio se relacionó con un retraso en el desarrollo de 1 a 2 meses. Individualmente, los efectos de esas dosis quizá no parezcan graves, pero pueden tener consecuencias graves a escala de la población.

213. Para poner en perspectiva el nivel de exposiciones al metilmercurio, la dosis de referencia (DdR) para el efecto perjudicial más comúnmente aceptado como no letal (efectos en el desarrollo neuronal) se calcula en 58 mg/l de mercurio total en sangre del cordón umbilical (o de 10 mg/g de mercurio total en el pelo de la madre), según datos del estudio de las Islas Faroe sobre exposiciones de seres humanos al mercurio (NRC, 2000; Budtz-Jorgensen *et al.*, 2000). Este valor de DdR es el límite inferior de confianza, de 95%, para el nivel de exposición que hace que se duplique una prevalencia de 5% en la disfunción neurológica (retrasos en el desarrollo de la atención, memoria verbal y lenguaje) en niños expuestos in-utero según el estudio de las Islas Faroe. Ese nivel de dosis se calcula a partir del análisis de observaciones de pruebas reales, que comportan un número de opciones de base científica, entre ellas un modelo estadístico y efectos específicos / pruebas de efectos que se utilizan en la evaluación. Los 58 mg/l de mercurio total en la sangre del cordón umbilical y los 10 mg/g de mercurio total en el pelo de la madre son los niveles en tejidos que se estimaron a partir de una ingesta diaria promedio de aproximadamente 1 microgramo de metilmercurio por kilogramo de peso corporal al día (1 mg/kg de peso corporal por día). Utilizando un factor de incertidumbre de 10, este nivel de DdR se ha usado para estimar niveles de exposición seguros para los seres humanos (US EPA, 2001b; NRC, 2000; Pirrone *et al.*, 2001).

214. En las Islas Seychelles se está realizando otro estudio prospectivo, en que las exposiciones al metilmercurio son de magnitud similar. Las mujeres embarazadas de las Seychelles consumen mucho

pescado, generalmente 10-15 comidas por semana (Shamlaye, 1995), pero las concentraciones de mercurio en el pescado oceánico consumido son más bajas (que las concentraciones de mercurio en la carne de calderón consumida por la población de las Islas Faroe), con una media de 0,2-0,3 mg/kg (Cernichiari *et al.*, 1995). En pruebas de desarrollo realizadas hasta los 5,5 años de edad, no se observaron efectos relacionados con la exposición al metilmercurio, medida por el mercurio del pelo de madres embarazadas (Davidson *et al.*, 1998; Crump *et al.*, 2000; Myers *et al.*, 2000; Axtell *et al.*, 2000; Palumbo *et al.*, 2000). El estudio longitudinal principal comenzó en 1989-1990 y comprendió unos 700 pares de madres e hijos. En este estudio, se utilizaron los niveles del pelo de la madre (media de 7 mg/g) y el pelo del niño, pero no de la sangre del cordón umbilical, como marcadores de la exposición al metilmercurio. Se hizo un reanálisis con valores brutos en vez de valores estandarizados para la edad, que arrojó resultados similares. (Davidson *et al.*, 2001)

215. Además, un estudio de Nueva Zelanda sugiere que hay un efecto en el desarrollo mental de niños a las edades de 4 y de 6-7 años. En un grupo expuesto a niveles elevados, la concentración promedio de mercurio en el pelo de la madre era de unos 9 mg/g. Se seleccionaron grupos de control expuestos a niveles más bajos. En total, se examinó a unos 200 niños de 6-7 años de edad y se observó una relación negativa entre el mercurio del pelo de la madre y el desarrollo neuropsicológico del niño. Aunque fue realizado una década antes que los estudios de las Islas Seychelles y Faroe (publicados como informes de la Agencia de Protección Ambiental de Suecia (Kjellstrom *et al.*, 1986; 1989)), la US EPA estimó conveniente incluir los resultados de este estudio en su reciente evaluación (US EPA, 2001b), teniendo en cuenta las similitudes en la concepción del estudio y los puntos de destino considerados, y tras un análisis posterior de los datos efectuado por Crump utilizando el método de la "dosis de referencia" (Crump *et al.*, 1998).

216. Algunos estudios transversales en que se hicieron tests neuropsicológicos a niños mayores en diferentes situaciones (como ser en el Amazonas y en la Isla de Madeira) también mostraron asociaciones significativas con la exposición al mercurio (véase el examen de US EPA, 2001b). Como la relación entre las concentraciones de mercurio observadas en el pelo de la madre, así como en la sangre del cordón umbilical, y las concentraciones de mercurio en la dieta humana está relativamente bien descrita (con algunas variaciones biológicas), es posible estimar los niveles correspondientes de metilmercurio en la dieta humana que se consideran seguros. Véase la sección 4.2.1 sobre el uso de ese instrumento de evaluación del riesgo.

217. El informe epidemiológico original de envenenamiento por metilmercurio comprendió 628 casos de seres humanos, ocurridos en Minamata, Japón, entre 1953 y 1960. La prevalencia general de trastornos neurológicos y mentales en la región de Minamata fue de 59%. En ese grupo ocurrieron 78 decesos y las concentraciones de mercurio en el pelo estuvieron comprendidas entre 50 y 700 mg/g. Los signos clínicos más comunes en los adultos fueron parestesia, ataxia, perturbaciones sensoriales, temblor, problemas de audición y dificultades para caminar. El examen del cerebro de los pacientes gravemente afectados que fallecieron reveló una atrofia pronunciada (55% del volumen y peso normales) con cavidades quísticas y focos esponjosos. A nivel microscópico, regiones enteras estaban desprovistas de neuronas y, en el cerebelo, de células granulosas, células de Golgi y células de Purkinje. Se emprendieron investigaciones a gran escala sobre la enfermedad de Minamata congénita (hijos de mujeres expuestas) y se documentaron 20 casos que ocurrieron en un período de cuatro años. Todos los casos congénitos mostraron una mayor incidencia de los síntomas que los casos en que la exposición ocurrió en la edad adulta. Se describieron trastornos graves de la función nerviosa y los descendientes afectados alcanzaron con gran retraso los etapas de desarrollo. Las concentraciones de mercurio en el pelo de los niños afectados variaban entre 10 y 100 mg/g (Harada, 1995; 1997; Tsubaki and Takahashi, 1986; WHO/IPCS, 1990). Además, estudios posteriores de pacientes con la enfermedad de Minamata señalaron una elevación del umbral de dolor (efecto adverso) en el cuerpo y extremidades distales (Yoshida *et al.*, 1992).



### Síntomas y efectos de la enfermedad de Minamata en la salud

Los síntomas de la enfermedad de Minamata comprenden:

- trastornos sensoriales en las cuatro extremidades (pérdida de sensación en manos y pies);
- ataxia (dificultad para coordinar el movimiento de manos y pies);
- estrechamiento del campo de visión;
- problemas de audición;
- trastornos de la capacidad para mantener el equilibrio;
- trastornos del habla;
- temblor de manos y pies, y
- trastornos del movimiento ocular.

En casos muy graves, las víctimas caen en un estado de demencia, pierden la conciencia e incluso pueden morir. En los casos relativamente leves, la afección apenas se distingue de trastornos tales como el dolor de cabeza, fatiga crónica y una incapacidad generalizada para diferenciar el gusto y el olfato.

Cuando aparecieron los primeros brotes de la enfermedad de Minamata, la mayor parte de los pacientes presentaban la serie completa de síntomas graves. En 16 casos, los pacientes murieron antes de cumplirse 6 meses de la aparición de los síntomas. En 1965, la mortalidad era de 44,3%. Desde entonces se ha identificado también un gran número de casos leves o que presentan una serie incompleta de síntomas. (ciudad de Minamata, 2000).

218. La exposición de adultos a altas dosis de metilmercurio se caracteriza fundamentalmente por varios signos y síntomas neurológicos. Como no existe ningún análisis médico para confirmar el diagnóstico de la enfermedad de Minamata, los casos se identificaron teniendo en cuenta una combinación característica de síntomas (Harada, 1997; Uchino *et al.*, 1995), entre ellos neuropatía periférica, disastria, temblores, ataxia cerebelosa, trastornos de la marcha, , constricción del campo visual y perturbación de los movimientos oculares, pérdida de audición, trastornos del equilibrio, y síntomas subjetivos tales como dolor de cabeza, dolores musculares y articulares, mala memoria y fatiga. Según la evaluación realizada por WHO/IPCS (1990), se consideró que con concentraciones de mercurio en el pelo superiores a 50 mg/g o en la sangre superiores a 200 mg/l se producen parestesias en el 5% de la población adulta (WHO/IPCS, 1990). Investigaciones posteriores han dado algunas pruebas de que concentraciones inferiores producen efectos en adultos (véase Lebel *et al.* (1998) más abajo).

219. En el envenenamiento ocurrido en Iraq en 1971, el síntoma predominante fue parestesia, que se presentó generalmente tras un período de latencia de 16 a 38 días. En adultos, los síntomas dependían de la dosis y, entre las personas más gravemente afectadas, se observó ataxia, visión borrosa, lenguaje indistinto y dificultades de audición (Bakir *et al.*, 1973). Los signos que se observaron en niños de corta edad expuestos durante el desarrollo fetal fueron, entre otros, parálisis cerebral, alteraciones del tono muscular y de los reflejos de tendones profundos, así como retrasos en las etapas del desarrollo. Las madres sufrieron parestesias y otros trastornos sensoriales, pero a dosis superiores a las relacionadas con sus hijos expuestos in utero (durante la gestación) (Bakir *et al.*, 1973; WHO/IPCS, 1990; Al-Mufti *et al.*, 1976).

### Envenenamiento por metilmercurio en la bahía de Minamata, Japón

En los decenios de 1960 y 1970, el problema de la contaminación de mercurio en la bahía de Minamata atrajo la atención de los medios de difusión del mundo entero, haciendo ver los efectos negativos del metilmercurio para la salud y contribuyendo a que el público tomara conciencia de la importancia de la protección del medio ambiente.

Hace más de cuarenta años, la bahía de Minamata en Japón fue gravemente contaminada por aguas residuales que contenían metilmercurio, un subproducto del proceso de síntesis de acetaldehído en la planta química local. Durante varios años fueron descargadas en la bahía entre 70 y 150 toneladas métricas o más de mercurio, mezclado con los efluentes de la fábrica. La contaminación afectó a la población de Minamata en la forma de una intoxicación con metilmercurio, conocida como “enfermedad de Minamata”, que produjo daños en el sistema nervioso central de las personas que comieron grandes cantidades de pescado y mariscos contaminados procedentes de la bahía de Minamata. Además, ocurrieron casos de enfermedad de Minamata congénita, en que las víctimas nacían con una afección parecida a la parálisis cerebral, causada por el envenenamiento del feto con metilmercurio a través de la placenta, cuando la madre había consumido pescado y mariscos contaminados durante el embarazo. La enfermedad, que fue reconocida oficialmente el 1º de mayo de 1956, afectó gravemente a la comunidad local y fue una gran carga para la ciudad. Muchas personas perdieron su vida o sufrieron deformidades físicas, y desde entonces han tenido que vivir con el dolor físico y emocional de la “enfermedad de Minamata”.

Una vez confirmada la causa de la enfermedad, se pusieron en práctica diversas medidas para tratar los problemas planteados por la contaminación con mercurio, entre ellas la reglamentación de los efluentes de la fábrica, restricciones voluntarias a la captura de peces y mariscos de la bahía, instalación de redes divisorias a fin de cerrar la abertura de la bahía y evitar la diseminación de los peces contaminados, dragado de sedimentos de la bahía que contenían mercurio y un depósito apropiado para contener los lodos contaminados. Por último, en octubre de 1997 se quitaron las redes divisorias que habían cerrado la bahía durante 23 años. Después de que varios estudios confirmaron que los niveles de mercurio en los peces eran inferiores a los niveles reglamentarios y lo habían sido durante tres años, se volvió a abrir la bahía de Minamata como zona general de pesca y la Minamata Fisheries Co-op reanudó sus capturas para el mercado pesquero (Minamata City, 2000).

Desde entonces, el Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata (*National Institute for Minamata Disease*), creado para investigar los impactos de la contaminación por mercurio, ha contribuido sustancialmente al conocimiento de la toxicología y la exposición a ese metal tanto en el ámbito nacional como en otras regiones del mundo.

El Ministerio del Medio Ambiente de Japón, en su informe “Nuestros intensos esfuerzos para superar la trágica historia de la enfermedad de Minamata” (*Our Intensive Efforts to Overcome the Tragic History of Minamata Disease* (JME, 1997)), llega a la siguiente conclusión:

*“De la incidencia de la enfermedad de Minamata, Japón ha aprendido una lección muy importante sobre el modo en que las actividades que dan prioridad a la economía pero no tienen consideración por el medio ambiente pueden causar graves daños a la salud y al medio ambiente, y lo difícil que es recuperarse después de esos daños. Incluso desde el punto puramente económico, hacer frente a tales daños supone un gran costo en tiempo y dinero, y cuando comparamos el costo en que se ha incurrido y el costo de las medidas que podrían haber evitado la contaminación, permitir que ésta ocurra no es por cierto una opción económicamente recomendable. En nuestro país, tras la experiencia crucial de haber sufrido daños desastrosos a causa de la contaminación, entre ellos la enfermedad de Minamata, las medidas adoptadas para proteger el medio ambiente han logrado progresos espectaculares. Sin embargo, los sacrificios que hemos tenido que hacer en el camino han sido realmente enormes. Esperamos sinceramente que otros países puedan aprovechar la experiencia de Japón como lección de vital importancia, que se tome en consideración el medio ambiente y que se prevenga la contaminación para que nadie tenga nunca que volver a sufrir la tragedia de daños como éstos”.*

### Casos de envenenamiento por mercurio en Iraq

Los envenenamientos con metil y etilmercurio que ocurrieron en Iraq se debieron al consumo de granos de semilla tratado con fungicidas que contenían dichos compuestos de alquimercurio. Los primeros brotes, causados por etilmercurio, ocurrieron en 1956 y 1959-1960; unas 1.000 personas resultaron perjudicadas. El segundo brote, causado por metilmercurio, ocurrió en 1972. El número de personas hospitalizadas con síntomas de envenenamiento fue estimado en unas 6.500, de las cuales se notificó que fallecieron 459. Los granos de semilla importados, tratados con mercurio, llegaron después de la temporada de siembra y posteriormente se utilizaron como cereal, del cual se hizo harina para fabricar pan. A diferencia de las exposiciones a largo plazo que tuvieron lugar en Japón, la epidemia de envenenamiento por metilmercurio que ocurrió en Iraq fue de corta duración, pero la magnitud de la exposición fue grande. Como muchas de las personas expuestas de ese modo al metilmercurio vivían en pequeños poblados en zonas muy rurales (y algunos eran nómades), el número total de personas expuestas a esos granos de semilla contaminados con mercurio no se conoce.

220. Lebel *et al.* (1998) descubrieron que la ejecución anormal del movimiento alterno en la prueba BAMT (Branches Alternate Movement Task) se relacionaba significativamente con todas las medidas de la exposición al mercurio en los adultos de una aldea del Amazonas y que los campos visuales anormales se relacionaban con concentraciones medias y máximas de mercurio en el pelo. Los autores afirman que las disminuciones en las funciones visuales y motoras proporcionales a las dosis se relacionaban con concentraciones de mercurio en el pelo inferiores a 50 mg/g, una gama en que los signos clínicos de la intoxicación con mercurio no son aparentes<sup>1</sup>.

### 3.2.2 Cáncer (efectos neoplásicos)

221. Se realizaron estudios sobre las causas de muerte en las poblaciones de Minamata, Japón, que sufrieron altas exposiciones a metilmercurio. La única clara indicación de un aumento del riesgo de cáncer estaba en el más informativo de esos estudios, en el cual se encontró un exceso en la mortalidad debida al cáncer de hígado y de esófago en la zona de mayor exposición, junto con un aumento del riesgo de la enfermedad crónica del hígado y la cirrosis. Se sabía que el consumo de bebidas alcohólicas en la zona era mayor que el promedio (IARC, 1993).

222. En un estudio de cohortes realizado en Suecia con personas que tenían permiso para desinfectar semillas con compuestos de mercurio y otros agentes, no se encontró un exceso en los casos de cáncer de cerebro. De los tres estudios suecos de casos y controles sobre la exposición al tratamiento de semillas a base de mercurio y sarcomas de tejidos blandos, sólo uno de ellos mostró una razón de posibilidades (odds ratio) superior a la unidad. En los tres estudios, los intervalos de confianza incluían la unidad. En el caso de los linfomas malignos, se obtuvo una razón de posibilidades leve pero no significativamente elevada para la exposición a los tratamientos de las semillas con mercurio, pero otras exposiciones tenían razones de posibilidades superiores y, por consiguiente, posibles factores de confusión (IARC, 1993).

223. Según varios estudios, el cloruro de metilmercurio provocó tumores renales en ratones expuestos a dicho compuesto en la dieta, pero no en ratas. El Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (*International Agency for Research on Cancer*, IARC, 1993) estimó que existen pruebas suficientes de la carcinogenicidad del cloruro de metilmercurio en animales de laboratorio. Además,

---

<sup>1</sup> Estados Unidos, en los comentarios que formuló sobre el primer anteproyecto de este informe (comm-24-gov), señaló que en la población amazónica no se podía descartar totalmente una exposición previa o simultánea a vapores de mercurio metálico y que había otros problemas de nutrición, parasitismo y posibles carencias nutricionales en esa población. Por lo tanto, según los comentarios de Estados Unidos, otros factores pueden haber contribuido a los déficits neurológicos señalados y, en consecuencia, la concentración de mercurio en el pelo puede ser un índice inapropiado para atribuir totalmente a ese metal la neurotoxicidad observada.

basándose en su evaluación general, en que se tomaron en consideración otros datos pertinentes, llegó a la conclusión de que los compuestos de metilmercurio pueden ser carcinógenos para los seres humanos (grupo 2B) (IARC, 1993).

### 3.2.3 Efectos renales (riñones)

224. Rara vez se han señalado efectos tóxicos en los riñones tras la exposición de seres humanos a compuestos orgánicos de mercurio. La única constancia de un efecto renal producido a raíz de la ingestión de pescado contaminado con mercurio proviene de un estudio de certificados de defunción realizado por Tamashiro *et al.* (1986). Los autores evaluaron las causas de fallecimiento de los residentes de una pequeña zona de la ciudad de Minamata que tenía la mayor prevalencia de la enfermedad de Minamata, empleando como norma tasas específicas por edad de toda la ciudad. Entre 1970 y 1981, el número de muertes atribuidas a enfermedades nefríticas era mayor que el previsto en las mujeres que residían en la región (razón estandarizada de mortalidad, 2,77; IC de 95%, 1,02 – 6,02), pero se encontraba dentro del rango previsto (razón estandarizada de mortalidad, 0,80; IC de 95% , 0,17 – 2,36) en los hombres residentes en la región.

### 3.2.4 Efectos cardiovasculares (corazón y sistema circulatorio)

225. Jalili y Abbasi (1961) describieron anomalías observadas en electrocardiogramas (función cardíaca) en pacientes gravemente intoxicados, hospitalizados durante la epidemia de envenenamientos por etilmercurio ocurrida en Iraq con granos contaminados. Se señalaron constataciones similares en cuatro miembros de una familia que habían consumido cerdo contaminado con etilmercurio (Cinca *et al.*, 1979). Salonen *et al.* (1995) compararon la ingesta alimentaria de pescado y las concentraciones de mercurio en el pelo y la orina, con la prevalencia de infarto agudo del miocardio (IAM) y mortalidad por insuficiencia coronaria o enfermedad cardiovascular en una cohorte de 1.833 hombres finlandeses. La ingesta alimentaria de mercurio estuvo comprendida entre 1,1 y 95,3 mg por día (una media de 7,6 mg por día). En un período de observación de siete años, los hombres del tercil superior (2 mg/g o más) de mercurio en el pelo tenían doble riesgo (1,2 – 3,1) de sufrir un IAM que los hombres de los dos terciles inferiores. Un seguimiento posterior (Rissanen *et al.*, 2000) mostró que los ácidos grasos omega-3 tienen un efecto protector contra la insuficiencia coronaria aguda que era, sin embargo, menos evidente en las personas con una concentración de mercurio en el pelo igual o superior a 2 mg/g. Los autores llegaron a la conclusión de que un alto contenido de mercurio en el pescado podría reducir el efecto protector de esos ácidos grasos. Un estudio reciente de Sørensen *et al.* (1999) mostró una relación entre la exposición prenatal al metilmercurio y la función cardiovascular a los 7 años de edad en niños de las Islas Faroe, aunque se basó en una única medición de la presión sanguínea por sujeto, con el alto grado de incertidumbre que ello aparece. La presión sanguínea diastólica y sistólica aumentó 13,9 y 14,6 mmHg respectivamente, cuando las concentraciones de mercurio en el cordón umbilical aumentaron de 1 a 10 mg/l. En los varones, la variabilidad del ritmo cardíaco, un marcador del control autónomo del corazón, disminuyó 47% cuando las concentraciones de mercurio en el cordón umbilical aumentaron de 1 a 10 mg/l.

226. Esos estudios sugieren que incluso pequeños aumentos en las exposiciones al metilmercurio pueden surtir efectos en el sistema cardiovascular, produciendo de ese modo un aumento de la mortalidad. Dada la importancia de las enfermedades cardiovasculares en todo el mundo, esas constataciones requieren más atención y un seguimiento adicional.

### 3.2.5 Genotoxicidad

227. Skervfing (1974) encontró escaso fundamento para la asociación entre aberraciones cromosómicas y la presencia de mercurio en glóbulos rojos de personas que consumían grandes cantidades de pescado de agua dulce contaminado. Wulf *et al.* (1986) señalaron un aumento de la prevalencia del intercambio de cromátides hermanas en seres humanos que comían carne de foca contaminada con mercurio. Sin embargo, no se indicó si esas personas fumaban ni si estaban expuestas a otros metales pesados, lo cual dificulta la interpretación de ese estudio. No se detectó ningún aumento en la frecuencia del intercambio de cromátides hermanas ni alteraciones numéricas de los cromosomas

en 16 sujetos que comieron pescado capturado en una zona contaminada con metilmercurio en Colombia, en comparación con 14 testigos (Monsalve y Chiappe, 1987). Más recientemente, Franchi *et al.* (1994) observaron una correlación entre la prevalencia de micronúcleos en linfocitos periféricos y concentraciones de mercurio en la sangre en una población de pescadores que habían comido pescado y mariscos contaminados por mercurio.

### 3.3 Mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio

228. Si bien existen muchas fuentes de mercurio elemental, una importante vía de exposición a esa especie son las amalgamas dentales. Se considera que las otras formas de exposición a esta especie de mercurio en general están disminuyendo en Europa y, muy probablemente, también en muchos otros países de la OCDE. En esas regiones, el metilmercurio se considera la forma más importante a la que se exponen los seres humanos. Sin embargo, las presentaciones que los países hicieron al PNUMA para esta evaluación indican que las exposiciones a mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio debidas a la contaminación local, exposición ocupacional, ciertas prácticas culturales y rituales, y algunos medicamentos tradicionales pueden variar considerablemente según los países y regiones del mundo, y que esas exposiciones son considerables en algunas zonas.

229. La siguiente presentación de los efectos tóxicos del mercurio elemental y los compuestos inorgánicos de mercurio se basa en una presentación preparada por Pirrone *et al.* (2001), ligeramente editada para este informe. Pirrone *et al.* (2001), mencionan que su presentación se basó en gran parte en análisis anteriores efectuados por la OMS (WHO/IPCS 1990; 1991), IARC (IARC, 1993) y la US EPA (US EPA 1997; 2001b). Asimismo, algunos datos se obtuvieron del reciente informe del Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (WHO/IPCS, 2002).

230. Los síntomas y signos observados en el envenenamiento por vapor de mercurio difieren según el nivel y duración de la exposición. La mayoría de los estudios se han realizado en sujetos expuestos en el lugar de trabajo, pero existen también algunos datos de accidentes sufridos por la población general y sobre la exposición de bajo nivel debida a amalgamas dentales. Ese último tema ha sido ampliamente discutido y examinado (US Public Health Service, 1993; Clarkson, 2002; WHO/IPCS, 2002).

#### 3.3.1 Efectos neurológicos

231. De acuerdo con el examen de la US EPA (1997), los informes de exposiciones accidentales a altas concentraciones de vapores de mercurio (Aronow *et al.*, 1990; Fagala y Wigg, 1992; Tauveg *et al.*, 1992), así como estudios de poblaciones crónicamente expuestas a concentraciones potencialmente elevadas (Ehrenberg *et al.*, 1991; Roels *et al.*, 1982; Sexton *et al.*, 1978) han mostrado efectos en una amplia variedad de funciones cognitivas, sensoriales, motoras y de la personalidad. En general, se ha observado que los síntomas disminuyen al interrumpirse la exposición. Sin embargo, se han observado efectos persistentes (temblor, déficits cognitivos) en sujetos expuestos en su trabajo 10 a 30 años después del cese de la exposición (Albers *et al.*, 1998; Kishi *et al.*, 1993; Mathiesen *et al.*, 1999; Letz *et al.*, 2000).

232. Diversos estudios sobre trabajadores expuestos a vapores de mercurio elemental han señalado un claro aumento en los síntomas de disfunción del sistema nervioso central a niveles de exposición superiores a  $0,1 \text{ mg/m}^3$  (Smith *et al.*, 1970) y claros síntomas de envenenamiento por mercurio a niveles que producen una concentración de mercurio en la orina superior a 300 mg en una muestra recogida durante 24 horas (Bidstrup *et al.*, 1951). Sin embargo, algunos estudios han presentado pruebas de neurotoxicidad a concentraciones entre 2 y 4 veces menores aproximadamente. Se registró un aumento de temblores de las manos y/o trastornos del sueño, ira, fatiga y problemas de memoria señalados por los propios afectados en trabajadores crónicamente expuestos a una concentración atmosférica estimada de  $0,025 \text{ mg/m}^3$  (aproximadamente equivalente a niveles de mercurio en la orina y la sangre de unos 25 mg/g y 10 mg/l) (Langworth *et al.*, 1992), pero no en un estudio reciente sobre niveles de exposición algo inferiores y una concentración de mercurio en la orina de 10-15 mg/g (Ellingsen *et al.*, 2001).

233. Las medidas objetivas de las funciones cognitivas y/o motoras en las poblaciones expuestas han mostrado diferencias significativas con los testigos no expuestos (Ehrenberg *et al.*, 1991; Liang *et al.*, 1993; Roels *et al.*, 1982). Sin embargo, en el estudio de Langworth *et al.* (1992), no hubo

constataciones objetivas en tests neuropsicológicos ni en registros de temblores. Resultados similares se obtuvieron en el estudio de Ellingsen *et al.* (2001), aunque se registraron algunos efectos posiblemente relacionados con las exposiciones. Se señalaron temblores con exposiciones prolongadas a concentraciones relativamente bajas de vapor de mercurio (Fawer *et al.*, 1983; Chapman *et al.*, 1990). Un ligero temblor puede ser un efecto adverso precoz (Biernat *et al.*, 1999; Netterstrøm *et al.*, 1996). Sin embargo, varios estudios no mostraron un aumento del temblor con una exposición de bajo nivel (Roels *et al.*, 1989; Langworth *et al.*, 1992; Ellingsen *et al.*, 2001).

234. En una reciente evaluación de todos los estudios efectuados sobre la relación exposición-respuesta entre el vapor de mercurio inhalado y los efectos adversos en la salud, el *IPCS* llegó a la conclusión de que varios estudios demuestran sistemáticamente los efectos sutiles que ejercen en el sistema nervioso central las exposiciones ocupacionales al vapor de mercurio a niveles de exposición de aproximadamente 20 mg/m<sup>3</sup> o superiores (WHO/IPCS, 2002).

### 3.3.2 Efectos renales (riñones)

235. El riñón es, junto con el sistema nervioso central, un órgano crítico en la exposición al vapor de mercurio. El mercurio elemental se puede oxidar en los tejidos del cuerpo para dar una forma inorgánica divalente. El riñón acumula ese compuesto inorgánico de mercurio en mayor medida que la mayor parte de los otros tejidos, con concentraciones típicas de 0,1 – 0,3 mg/g en grupos no expuestos ocupacionalmente (Drasch *et al.*, 1996; Barregard *et al.*, 1999; Hac *et al.*, 2000; Falnoga *et al.*, 2000). La concentración crítica de mercurio en el riñón no se conoce, pero los niveles en personas expuestas permanentemente en el lugar de trabajo pueden ser de unos 25 mg/g (Kazantzis *et al.*, 1962; Borjesson *et al.*, 1995; Barregard *et al.*, 1999).

236. Un alto nivel de exposición puede provocar glomerulonefritis (mediada por complejos inmunes) con proteinuria y síndrome nefrítico. Se ha mostrado que pueden ocurrir con exposiciones ocupacionales (Kazantzis, 1962; Tubbs *et al.*, 1982), así como tras el uso de ungüentos o cremas para aclarar la piel a base de mercurio (Becker *et al.*, 1962; Kibukamusoke *et al.*, 1974), pero los casos señalados son relativamente escasos. Por lo tanto, probablemente sea necesario que haya una susceptibilidad genética específica para que se manifieste claramente una nefritis. Para un análisis de este punto, véase Eneström y Hultman (1995).

237. A altas exposiciones lo más común es la proteinuria, tanto globular (albúmina) como tubular (proteínas de bajo peso molecular). Sin embargo, generalmente no se ve albuminuria a niveles de exposición que resultan en una concentración de mercurio en la orina inferior a 100 mg/g de creatinina (Buchet *et al.*, 1980; Roels *et al.*, 1982; 1989; Langworth *et al.*, 1992; Barregard *et al.*, 1997; Ellingsen *et al.*, 2000).

238. A exposiciones de bajo nivel, se ha señalado un efecto en los túbulos renales, que se manifiesta por un aumento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, y que puede constituir el efecto biológico más precoz. Ese efecto se había mostrado anteriormente con una exposición ocupacional y una concentración de mercurio en la orina de aproximadamente 35 mg/g de creatinina, equivalente a una exposición prolongada a niveles atmosféricos de 25-30 mg/m<sup>3</sup> (Barregard *et al.*, 1988; Langworth *et al.*, 1992; Cardenas *et al.*, 1993). En un informe reciente de Ellingsen *et al.* (2000) también se mostró ese efecto en trabajadores que presentaban una concentración de mercurio en la orina de unos 10 mg/g de creatinina. Investigaciones en curso (Wastensson G, comunicación personal, 2001, citado por Pirrone *et al.*, 2001) parecen respaldar la constatación de efectos de poca envergadura en trabajadores de plantas cloroalcalinas de Suecia a niveles situados en torno a 5 mg/g de creatinina, que es apenas superior al que se encuentra en la población en general. Por otra parte, las consecuencias a largo plazo de la proteinuria tubular aún no son claras (Jarup *et al.*, 1998). Por ejemplo, Ellingsen *et al.* (1993a) han sugerido que algunos efectos renales pueden ser reversibles tras un período de tiempo suficiente y Frumkin *et al.* (2001) llegaron en sus investigaciones a la conclusión de que “no se demuestra una asociación sólida con la función renal o neurológica, ni con la excreción de porfirina”.

239. Entre los trabajadores de sexo masculino de las minas europeas de mercurio, se observó un aumento de la mortalidad por nefritis y nefrosis (razón estandarizada de mortalidad 1,55; IC de 95 %

1,13-2,06) (Boffetta *et al.*, 2001), que no se demostró en trabajadores de plantas cloroalcalinas (Barregard *et al.*, 1990; Ellingsen *et al.*, 1993).

240. Basándose en estudios actuales, el *IPCS* llegó recientemente a la conclusión (WHO/*IPCS*, 2002) de que los efectos adversos en el riñón se producen generalmente a exposiciones mayores que las que inducen efectos neurofisiológicos. Asimismo, si bien se ha descrito un gran número de intoxicaciones graves e incluso mortales (a menudo suicidios o intentos de suicidio) tras ingestión de compuestos inorgánicos de mercurio, los datos sobre seres humanos no permiten determinar los niveles de exposición no adversos o menos nocivos, especialmente en casos de exposición a largo plazo. En estudios efectuados con animales de laboratorio, se determinó un nivel sin efecto adverso observado (NOAEL) de 0,23 mg/kg por día (US ATSDR, 1999; WHO/*IPCS*, 2002).

### 3.3.3 Cáncer (efectos neoplásicos)

241. Los datos sobre la carcinogenicidad del mercurio metálico y sus compuestos inorgánicos provienen principalmente de estudios sobre la incidencia de cáncer en trabajadores, entre ellos dentistas, fabricantes de armas nucleares, obreros de plantas cloroalcalinas y mineros. Los datos de trabajos anteriores han sido resumidos en análisis (IARC, 1993; Boffetta *et al.*, 1993).

242. En 1993, el Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer hizo una evaluación sobre el mercurio metálico y los compuestos inorgánicos de mercurio y encontró que las pruebas de la carcinogenicidad del mercurio metálico en animales de laboratorio eran inadecuadas y las del cloruro de mercurio, limitadas. En su evaluación general, llegó a la conclusión de que el mercurio metálico y los compuestos inorgánicos de mercurio no son clasificables (grupo 3) en función de su carcinogenicidad para los seres humanos (IARC, 1993).

243. Citando un número de estudios sobre la exposición ocupacional al mercurio, incluyendo estudios hechos después de la evaluación del Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer en 1993, Pirrone *et al.* (2001) llegaron a la conclusión de que el cáncer de pulmón es la única forma de cáncer que parece aumentar sistemáticamente en diversos grupos de trabajadores expuestos al mercurio metálico y a compuestos inorgánicos de mercurio. La principal dificultad en la interpretación de los datos sobre cáncer de pulmón es la posible coexposición a otras sustancias carcinógenas para el pulmón, en particular el arsénico (industria peletera), radón y sílice (minería). Una limitación adicional es la falta casi universal de datos sobre tabaquismo. El hecho de que no se haya observado ningún aumento en un gran grupo de trabajadores de minas europeas de mercurio no expuestos al cuarzo (Boffetta *et al.*, 1998) contradice la hipótesis de que el vapor de mercurio produce cáncer de pulmón. No hay indicio de ningún aumento sistemático de otros neoplasmas, entre ellos el cáncer de cerebro o riñón, en esas poblaciones.

### 3.3.4 Efectos en el aparato respiratorio

244. La toxicidad para el aparato respiratorio de los seres humanos de la exposición a vapores de mercurio elemental se manifiesta por congestión y edema pulmonar, tos, neumonitis intersticial e insuficiencia respiratoria (Bluhm *et al.*, 1992; Taueg *et al.*, 1992; WHO/*IPCS*, 1991). Barregard *et al.* (1990) y Ellingsen *et al.* (1993) no observaron ninguna asociación entre la mortalidad por enfermedad respiratoria y la exposición al mercurio en trabajadores expuestos a ese metal en la industria cloroalcalina, aunque el alcance de los estudios era escaso. Merler *et al.* (1994) no observaron ningún exceso de mortalidad por enfermedad respiratoria en hombres (razón estandarizada de mortalidad, 0,67; IC de 95% , 0,35 – 1,14) expuestos a mercurio en la industria de confección de sombreros de piel. Lo mismo se observó en trabajadores de minas de mercurio, salvo con respecto a la neumoconiosis (Boffetta *et al.*, 2001).

### 3.3.5 Efectos en el sistema cardiovascular

245. Algunos signos de la toxicidad cardiovascular de la exposición aguda de seres humanos a mercurio elemental son taquicardia, elevación de la presión sanguínea y palpitaciones (Bluhm *et al.*, 1992; Snodgrass *et al.*, 1981; Soni *et al.*, 1992; Wossmann *et al.*, 1999). Una exposición de duración

intermedia a vapores de mercurio elemental produjo efectos similares (es decir, taquicardia y aumento de la presión sanguínea) (Fagala and Wigg, 1992; Foulds *et al.*, 1987). Piikivi (1989) demostró una correlación positiva entre palpitations cardíacas y concentraciones de mercurio en la orina en trabajadores de una planta cloroalcalina, pero también observó “sólo una tendencia a una leve reducción de las respuestas cardiovasculares reflejas y un ligero aumento de síntomas subjetivos, pero ninguna disfunción autónoma significativa asociada con niveles bajos de exposición”. Sin embargo, tras examinar la literatura científica disponible, es difícil decir si los efectos en la función cardiovascular se deben a una toxicidad directa o indirecta del mercurio elemental en el corazón (por ejemplo, debido a efectos en el control neuronal de la función cardíaca). Barregard *et al.* (1990) mostraron que trabajadores de plantas cloroalcalinas suecas presentaban un aumento de la mortalidad por cardiopatía isquémica y enfermedad cerebrovascular. Sin embargo, no se llegó a las mismas conclusiones con respecto a trabajadores de la industria cloroalcalina noruega (Ellingsen *et al.*, 1993a). No obstante, el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPCS, 2003) y el US ATSDR (1999) señalaron recientemente que la exposición aguda a la inhalación de altas concentraciones de vapores de mercurio elemental procedentes del calentamiento de mercurio elemental y de compuestos inorgánicos de mercurio produjeron un aumento de la presión sanguínea y palpitations. Se señaló asimismo que exposiciones de mayor duración debidas a derrames o exposiciones ocupacionales han ocasionado un aumento de la presión sanguínea y una aceleración del ritmo cardíaco (WHO/IPCS, 2002; US ATSDR, 1999).

246. En trabajadores de minas europeas de mercurio, se señaló un aumento de la mortalidad debido a hipertensión (tasa estandarizada 1,46; IC de 95 % 1,08-1,93) y a cardiopatías, salvo la cardiopatía isquémica (razón estandarizada de mortalidad, 1,36; IC de 95 % 1,20-1,53), y se indicó que esos efectos aumentaban con el tiempo transcurrido desde el primer empleo y con la exposición acumulativa estimada al mercurio. Sin embargo, las conclusiones no coincidían en diversos países. Asimismo, no se observaron aumentos en la cardiopatía isquémica ni en las enfermedades cerebrovasculares (Boffetta *et al.*, 2001).

247. Se observaron aumentos estadísticamente significativos de aproximadamente 5 mmHg en la presión sanguínea tanto sistólica como diastólica en 50 voluntarios con amalgamas dentales al compararlos con un grupo de testigos de la misma edad y sexo (de una edad promedio de aproximadamente 22 años) sin empastes dentales de amalgamas de mercurio. No se discutieron posibles diferencias debidas a factores de confusión entre los dos grupos, tales como el estilo de vida y la masa corporal. Se observó asimismo una disminución significativa de la hemoglobina y el hematocrito, y un aumento de la concentración de la hemoglobina corpuscular media, en comparación con los testigos que no tenían amalgamas dentales (Siblerud, 1990, citado por WHO/IPCS, 2002).

### 3.3.6 Efectos en el aparato digestivo

248. El signo más común de un claro envenenamiento por mercurio es la estomatitis, que generalmente se señala tras exposición a una alta concentración de vapores de mercurio elemental (Bluhm *et al.*, 1992; Snodgrass *et al.*, 1981). Otros efectos gastrointestinales que se señalan con frecuencia son náuseas, vómitos, diarrea y cólicos abdominales (Bluhm *et al.*, 1992; Lilis *et al.*, 1985; Sexton *et al.*, 1978; Snodgrass *et al.*, 1981; Vroom and Greer, 1972). Sin embargo, no se observó aumento de mortalidad por causa del aparato digestivo en los trabajadores de minas europeas de mercurio (Boffetta *et al.*, 2001).

### 3.3.7 Efectos en la glándula tiroidea

249. La tiroides puede acumular mercurio en caso de exposición continua a mercurio elemental (Kosta *et al.*, 1975; WHO/IPCS, 1991; Falnoga *et al.*, 2000). Se ha mostrado que una exposición ocupacional moderada afecta un sistema particular de enzimas de la tiroides a niveles de mercurio en la orina de 15-30 mg/g de creatinina – los mismos niveles mencionados en los informes sobre los efectos menores en el sistema nervioso central y los riñones (Barregard *et al.*, 1994; Ellingsen *et al.*, 2000). En un estudio reciente (Ellingsen *et al.*, 2000), se comparó la función tiroidea de 47 trabajadores de la industria cloroalcalina expuestos a vapores de mercurio durante un promedio de 13,3 años con 47 “referentes”. El grupo de los trabajadores expuestos mostró un aumento en la concentración sérica



media de la triyodotironina inversa (T3) estadísticamente significativo en comparación con el de los referentes. Asimismo, la proporción de tiroxina libre (T4) y T3 libre era mayor en los subgrupos más expuestos que en los referentes. Parece afectar la enzima deiodinasa responsable de la deiodación de la tiroxina (T4) a triyodotironina (T3), una selenoenzima. Sin embargo, Ellingsen *et al.* (2000) señalaron asimismo que “la función de conjunto de la glándula tiroidea, evaluada midiendo la TSH y las hormonas tiroideas, parece conservarse en los trabajadores expuestos a niveles bajos de mercurio elemental”.

### 3.3.8 Efectos en el sistema inmunitario

250. La capacidad del mercurio para inducir una enfermedad de mediación inmunológica ha sido meticulosamente investigada en ratas y ratones expuestos experimentalmente a compuestos inorgánicos de mercurio; en la mayoría de los estudios, mercurio divalente, pero también vapores de mercurio. El tipo de respuesta depende de las cepas, algunas de ellas susceptibles a enfermedades autoinmunes y otras, resistentes. Por lo tanto, se supone que probablemente el genotipo cumpla un papel importante en los posibles efectos inmunológicos en los seres humanos. Para un análisis, véase Eneström and Hultman (1995) y Sweet y Zelikoff (2000). Algunos estudios en personas expuestas ocupacionalmente a niveles moderados de mercurio elemental señalaron cambios en la bioquímica del sistema de respuesta inmunitaria (véase Pirrone *et al.*, 2001).

### 3.3.9 Efectos en la piel

251. La exposición a vapores de mercurio elemental de duración intermedia o aguda puede resultar en una respuesta conocida como acrodinia o "enfermedad rosada", que se caracteriza por descamación de la palma de las manos y planta de los pies, transpiración profusa, prurito, sarpullido, dolores articulares y falta de vigor, aumento de la presión sanguínea y taquicardia (Fagala and Wigg, 1992; Karpathios *et al.*, 1991; Schwartz *et al.*, 1992). También se ha señalado sarpullido y estomatitis tras niveles altos de exposición por inhalación (Bluhm *et al.*, 1992; Barregard *et al.*, 1996).

### 3.3.10 Efectos en la reproducción y el desarrollo

252. Un estudio sobre embarazos de profesionales dentales de Polonia mostró una alta frecuencia de malformaciones (Sikorski *et al.*, 1987). Sin embargo, en un estudio sobre profesionales dentales de Suecia no se observaron aumentos en malformaciones, abortos o partos de mortinatos (Ericsson y Källén, 1989). En hijos de enfermeras dentales se observó un aumento de niños de bajo peso al nacer (Ericsson y Källén, 1989); sin embargo, en ese mismo estudio no se observaron efectos similares en dentistas ni técnicas dentales. Es posible que factores socioeconómicos hayan contribuido a los efectos observados.

253. Estudios sobre la exposición ocupacional indican que la exposición al mercurio elemental puede afectar la reproducción humana. Los efectos posibles son un aumento de abortos espontáneos, anomalías congénitas y una disminución de la fertilidad en las mujeres.

254. En estudios sobre la exposición ocupacional, la exposición del padre al mercurio metálico no parece causar infertilidad ni malformaciones (Alcser *et al.*, 1989; Lauwerys *et al.*, 1985). Sin embargo, un estudio sobre resultados de embarazos de las esposas de 152 hombres expuestos al mercurio reveló un aumento de la incidencia de abortos espontáneos (Cordier *et al.*, 1991). Concentraciones de mercurio superiores a 50 mg/l en la orina de los padres antes de la concepción se asociaron con una duplicación del riesgo de aborto espontáneo. Elghancy *et al.* (1997) compararon los resultados de los embarazos de 46 trabajadoras expuestas al mercurio con los de 19 mujeres que trabajaban en sectores de la misma fábricas no relacionados con la producción. Las mujeres expuestas a compuestos inorgánicos de mercurio presentaban una elevación de la tasa de nacimientos con anomalías congénitas. Las concentraciones alcanzaban hasta 0,6 mg/m<sup>3</sup>.

255. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en las tasas de partos de mortinatos o abortos espontáneos entre los dos grupos de mujeres. Asimismo, no se observaron aumentos en los abortos espontáneos en asistentes dentales (potencialmente expuestas a vapores de mercurio) en un

estudio prospectivo histórico de resultados de embarazos de mujeres de 12 ocupaciones (Heidam, 1984). Del mismo modo, en una encuesta postal realizada en California (Brodsky *et al.*, 1985) no se observó ninguna relación entre los empastes de amalgama preparados por semana y la tasa de abortos espontáneos o anomalías congénitas. No se observó ningún exceso en la tasa de partos de mortinatos ni de malformaciones congénitas en 8.157 bebés nacidos de dentistas, asistentes dentales o técnicas; las tasas de abortos espontáneos no fueron diferentes de los valores esperados (Ericsson y Källén, 1989). Sin embargo, Rowland *et al.* (1994) encontraron que la probabilidad de concebir de las higienistas dentales que preparaban más de 30 amalgamas por semana y utilizaban por lo menos cinco procedimientos incorrectos de higiene al manipular mercurio era solamente un 63% de la probabilidad de las testigos no expuestas. Sin embargo, las mujeres menos expuestas eran más fértiles que las testigos no expuestas. En un vasto estudio realizado en Noruega, se compararon las tasas de éxito reproductivo de 558 cirujanas dentales con las de 450 profesoras de enseñanza secundaria (Dahl *et al.*, 1999). Los autores llegaron a la conclusión de que la exposición a mercurio, benceno y cloroformo no estaba asociada con una disminución de la fertilidad, excepto por un posible efecto del mercurio en el último embarazo de cirujanas dentistas múltiples.

### 3.3.11 Genotoxicidad

256. Dos estudios ocupacionales (Anwar y Gabal, 1991; Popescu *et al.*, 1979) informaron sobre trabajadores que habían inhalado compuestos inorgánicos de mercurio; los datos sobre la actividad clastógena de dichos compuestos no fueron concluyentes. Los trabajadores que se ocupaban de la fabricación de fulminato de mercurio ( $\text{Hg}[\text{OCN}]_2$ ) tenían un aumento significativo en la incidencia de aberraciones cromosómicas y micronúcleos en linfocitos periféricos, en comparación con testigos no expuestos (Anwar y Gabal, 1991). No hubo correlación entre niveles de mercurio en la orina o duración de la exposición y la mayor frecuencia de efectos; los autores del estudio llegaron a la conclusión de que el mercurio puede no haber sido el clastógeno en el proceso de fabricación. En un estudio de Popescu *et al.* (1979), 18 trabajadores expuestos a una mezcla de cloruro de mercurio, cloruro de metilmercurio y cloruro de etilmercurio mostraron aumentos significativos en la frecuencia de fragmentos acéntricos. Barregard *et al.* (1991) demostraron que había una correlación entre la exposición acumulativa al mercurio y la inducción de micronúcleos en un grupo de trabajadores de la industria cloroalcalina, lo cual hace pensar en un posible efecto genotóxico. Otros estudios no señalaron efectos genotóxicos en trabajadores expuestos a vapores de mercurio (Vershavve *et al.*, 1976, 1979; Mabilille *et al.*, 1984).

## 3.4 Interacciones – posibles efectos perjudiciales de ciertos nutrientes

257. Las pruebas de los posibles efectos de diversos nutrientes en relación con la toxicidad del mercurio no son concluyentes ni seguras. Sin embargo, hay escasas pruebas que sugieren que la dieta y la nutrición pueden reducir o potenciar la toxicidad del mercurio, dependiendo de las pautas de alimentación y determinadas sustancias de la dieta. Por lo tanto, el estado nutricional y las interacciones alimentarias podrían afectar los resultados de los estudios sobre el mercurio, ya sea influyendo en la toxicidad de este metal o incidiendo en las medidas de los puntos de destino. Algunas escasas resultados de laboratorio llevan a pensar que los efectos protectores de algunos nutrientes (tales como el selenio, la vitamina E, los ácidos grasos omega-3) podrían reducir posibles efectos nocivos del mercurio. Otros componentes de la dieta (tales como el etanol) podrían potenciar la toxicidad del mercurio. Asimismo, la malnutrición podría afectar los resultados del estudio, ya sea reduciendo directamente la sensibilidad del punto de destino de la prueba o exacerbando los efectos del mercurio y, en consecuencia, aumentando la sensibilidad a los efectos tóxicos del mercurio. Otros factores nutricionales tales como las deficiencias de hierro o folatos que perturban el desarrollo neuronal podrían también influir en los efectos del mercurio.

258. Además, según estudios de los efectos tóxicos del mercurio en los seres humanos, otros contaminantes de la dieta (tales como los bifenilos policlorados) pueden impedir la obtención de una información clara sobre la toxicidad del mercurio. En particular, eso ocurre cuando se investigan efectos tóxicos más sutiles a niveles de exposición más bajos, y se han hecho muchos esfuerzos para no

interpretar mal los resultados debido a los llamados “factores de confusión”. Se encontrará más información sobre posibles interacciones de nutrientes y otros componentes de los alimentos, entre otras, en las siguientes referencias: Block, 1985; Bulat *et al.*, 1998; Chalon *et al.*, 1998; Chapman y Chan, 2000; Drasch *et al.*, 1996; Falnoga *et al.*, 2000; Goyer, 1997; Kling *et al.*, 1987; McNeil *et al.*, 1988; NRC, 2000; Petridou *et al.*, 1998; Rowland *et al.*, 1986; Rumbelha *et al.*, 1992; Turner *et al.*, 1981, y WHO/IPCS, 1990.

## 4 Exposición actual al mercurio y evaluaciones del riesgo para la salud humana

### 4.1 Panorama general

259. Como ya se ha mencionado, la población general está expuesta al metilmercurio principalmente por la dieta (en particular de pescado), y a los vapores de mercurio elemental por las amalgamas dentales. Puede haber otras contribuciones considerables a la ingesta de mercurio total vía aire y agua, según la carga local de contaminación por mercurio. Asimismo, el uso personal de cremas y jabones para aclarar la piel, el uso del mercurio para usos religiosos, culturales y rituales, la presencia de mercurio en algunos medicamentos tradicionales (por ejemplo en algunos remedios tradicionales de Asia) y el mercurio en hogares y lugares de trabajo pueden aumentar sustancialmente la exposición humana. Por ejemplo, ha habido incrementos en los niveles de mercurio en el aire de los hogares por filtraciones de mercurio de medidores de gas viejos, así como otros derrames. Además, se han observado niveles elevados de mercurio en ambientes de trabajo como, por ejemplo, en plantas de cloro-álcali, minas de mercurio, fábricas de termómetros, refinerías y clínicas dentales (WHO/IPCS, 1991), así como en la minería y elaboración de oro extraído con mercurio. Otras exposiciones son ocasionadas por el uso de timerosal/tiomersal (tiosalicilato de etilmercurio) como conservador en algunas vacunas y otros productos farmacéuticos. Hoy en día, los impactos del mercurio relacionados con la contaminación local, la exposición en el trabajo, ciertas prácticas culturales y rituales y algunos medicamentos tradicionales pueden variar considerablemente de uno a otro país o región, y son notables en algunas regiones.

260. En la sección 4.4 se ilustran las exposiciones al mercurio total y al metilmercurio, principalmente por dieta a base de pescado, pero también por otras fuentes, con datos de diversas partes del mundo: Suecia, Finlandia, Estados Unidos de Norteamérica, el Ártico, Japón, China, Indonesia, Papua Nueva Guinea, Tailandia, República de Corea, Filipinas, la cuenca del Amazonas y Guayana Francesa. Por ejemplo, en Estados Unidos, en un estudio de un grupo representativo de aproximadamente 1.700 mujeres (de 16 a 49 años), para los años 1999-2000, cerca del 8% de las mujeres tenía concentraciones de mercurio en sangre y pelo que rebasaban los niveles de la dosis de referencia de la *US EPA* (una estimación de dosis inocua, véase la sección 4.2.1). Como se muestra en el capítulo, los datos indican que, por lo regular, en Groenlandia, Japón y otras regiones las exposiciones son más elevadas que en los Estados Unidos. Existen otros ejemplos de exposición de seres humanos, que se han presentado para usarlos en el presente informe. Lamentablemente no es posible darlos todos aquí.

261. En algunos de estos países y regiones, las deposiciones locales y regionales de mercurio han incidido durante años en los niveles de contaminación por mercurio, y durante las últimas décadas se han tomado medidas para reducir las emisiones nacionales. Sin embargo, las emisiones de mercurio se propagan a largas distancias, en la atmósfera y los océanos, lo que significa que incluso países con emisiones mínimas de mercurio y áreas alejadas de la intensa actividad humana pueden verse afectados. Por ejemplo, en las regiones árticas, tan alejadas de las fuentes importantes, se ha observado una exposición elevada al mercurio.

262. Algunos países y organismos internacionales han presentado datos sobre concentraciones de mercurio en peces. Además, en las publicaciones científicas se mencionan muchas investigaciones sobre niveles de mercurio en peces. La tabla 4.5 contiene un resumen de los datos presentados que ofrecen ejemplos de concentraciones de mercurio en peces de diversos lugares del mundo. Las concentraciones de mercurio en varias especies de peces van de 0,05 a 1,4 miligramos de mercurio por kilogramo de tejido de pez (mg/kg), dependiendo de factores como el pH y el potencial redox del agua, así como de la especie, edad y tamaño del pez. Como el mercurio se biomagnifica en la cadena alimentaria acuática, los peces que se encuentran más arriba de la cadena alimentaria (en un nivel trófico superior) suelen tener niveles mayores de mercurio. Por eso, los peces depredadores más grandes, como la caballa gigante (carite lucio), lucio, tiburón, pez espada, lucioperca americana, barracuda, atún grande (que hay que distinguirlo del atún pequeño que se utiliza para conserva), sable negro y marlín, así como las focas y ballenas dentadas, contienen las concentraciones más altas. Los

datos existentes indican que el mercurio está presente en todo el mundo (especialmente en peces) en concentraciones perjudiciales para los seres humanos y la flora y fauna silvestres. Tales niveles han ocasionado que en algunos países se formulen recomendaciones sobre el consumo de pescado y, en algunos casos, de mamíferos marinos, para que la población, sobre todo los subgrupos vulnerables (como mujeres embarazadas y niños pequeños) reduzca o evite el consumo de ciertos tipos de pescado provenientes de distintas aguas. No es probable que el consumo moderado de pescado (con niveles bajos de mercurio) ocasione exposiciones de consideración. En cambio, la población que consume grandes cantidades de pescados o mamíferos marinos contaminados puede quedar muy expuesta al mercurio y, por consiguiente, se encuentra en riesgo.

## 4.2 Evaluaciones de niveles de exposición que generan riesgos

### 4.2.1 Metilmercurio

263. Como antedicho, se considera que la ingesta del metilmercurio contenido en el pescado y otros alimentos de origen acuático es lo que tiene el efecto general más grave para los seres humanos. Basándose en evaluaciones de riesgos y otras consideraciones de carácter social, varios países y organizaciones internacionales han establecido herramientas de análisis para la evaluación de riesgos, tales como la ingesta diaria o semanal de metilmercurio o mercurio que se considera segura (Dosis de Referencia e Ingesta Semanal Tolerable Provisional), límites y directrices para las concentraciones máximas en el pescado y recomendaciones sobre el consumo de pescado.

264. La tabla 4.1 da una idea general de niveles máximos permitidos o recomendados de mercurio en el pescado en varios países (según presentaciones hechas al PNUMA, salvo indicación contraria). Se dan asimismo ejemplos de niveles tolerables de ingesta de mercurio o metilmercurio.

Tabla 4.1 Ejemplos de concentraciones máximas permitidas o recomendadas de mercurio (Hg) en el pescado en diversos países y por la OMS/FAO (según presentaciones hechas al PNUMA, salvo indicación contraria).

País/ Organización	Tipos de peces	Concentración máxima permitida/ recomendada en el pescado *1	Criterio	Ingesta tolerable *1
Australia	Peces que se sabe que contienen altas concentraciones de mercurio, tales como pez espada, atún de aleta azul del sur, barramundi, maruca, pez reloj anaranjado, raya, tiburón Todas las demás especies de peces, así como crustáceos y moluscos	1,0 mg de Hg/kg  0,5 mg de Hg/kg	Código de normas alimentarias de Australia	Ingesta semanal tolerable: 2,8 µg Hg/kg de peso corporal por semana, para las mujeres embarazadas.
Canadá	Todos los peces, excepto tiburón, pez espada o atún fresco o congelado (expresado como mercurio total en la parte comestible del pescado) Límite máximo permisible para los que consumen grandes cantidades de pescado, como las poblaciones aborígenes	0,5 ppm de Hg total  0,2 ppm de Hg total	Directrices/ tolerancias de diversos contaminantes químicos en Canadá	Ingesta diaria tolerable provisional: 0,47 µg Hg/kg de peso corporal por día, para la mayor parte de la población; 0,2 µg Hg/kg de peso corporal por día, para las mujeres en edad fértil y niños pequeños.
China	Peces de agua dulce	0,30 mg/kg	Normas sanitarias para alimentos	
Croacia	<i>Pescado fresco</i> Peces depredadores (atún, pez espada), moluscos, crustáceos	1,0 mg de Hg/kg 0,8 mg de metilHg/kg	Reglas sobre la cantidad de plaguicidas, toxinas, micotoxinas, metales e	

País/ Organización	Tipos de peces	Concentración máxima permitida/ recomendada en el pescado *1	Criterio	Ingesta tolerable *1
	Otras especies de peces  <i>Pescado enlatado</i> Peces depredadores (atún, pez espada), moluscos, crustáceos Todas las demás especies de peces	0,5 mg de Hg/kg 0,4 mg de metilHg/kg  1,5 mg de Hg/kg 1,0 mg de metilHg/kg 0,8 mg de Hg/kg 0,5 mg metilHg/kg	histaminas y sustancias similares que se pueden encontrar en los alimentos.	
Comunidad Europea *2	Productos pesqueros, con excepción de los enumerados más abajo. Anguila, atún, bacoreta, bonito, escolar negro, espadilla, esturión, fletán, gallineta nórdica, lucio, marlín, pailona, perro del norte, pez espada, pez vela, rape, raya, reloj anaranjado, tasarte y tiburón (todas las especies).	0,5 mg de Hg/kg de peso húmedo  1 mg de Hg/kg de peso húmedo	Diversas decisiones, reglamentos y directivas de la Comisión	
Georgia	Peces (agua dulce) y productos de la pesca Peces (Mar Negro) Caviar	0,3 mg de Hg/kg  0,5 mg de Hg/kg 0,2 mg de Hg/kg	Normas de Georgia de calidad de los alimentos 2001	
India	Pescado	0,5 ppm de Hg total	Normas de tolerancia	
Japón	Pescado	0,4 ppm de Hg total /kg 0,3 ppm de metilHg (como referencia)	Ley de sanidad de los alimentos – Norma provisional para pescado y mariscos	Ingesta semanal tolerable provisional: 0,17 mg de metilHg (0,4 µg/kg de peso corporal por día) (Nakagawa <i>et al.</i> , 1997).
Corea, República de	Pescado	0,5 mg de Hg/kg	Ley de alimentos 2000	
Mauricio	Pescado	1 ppm de Hg	Ley de alimentos 2000	
Filipinas	Peces (excepto depredadores) Peces depredadores (tiburón, atún, pez espada)	0,5 mg de metilHg /kg 1 mg de metilHg/kg	Codex Alimentarius	
República Eslovaca	Peces de agua dulce no depredadores y sus productos Peces de agua dulce depredadores Peces marinos no depredadores y sus productos Peces marinos depredadores	0,1 mg de Hg total/kg  0,5 mg de Hg total/kg 0,5 mg de Hg total/kg  1,0 mg de Hg total/kg	Código de la República Eslovaca	
Tailandia	Alimentos marinos Otros alimentos	0,5 µg de Hg/g 0,02 µg de Hg/g	Norma para alimentos que contienen contaminantes	
Reino Unido	Pescado	0,3 mg de Hg/kg (carne húmeda)	Norma legal europea	
Estados Unidos	Pescado, peces, moluscos y otros animales acuáticos ( <i>FDA</i> )  Los estados, tribus y territorios son responsables de emitir recomendaciones sobre el consumo de pescado capturado localmente. Nivel de activación para muchos departamentos estatales de salud:	1 ppm de metilHg  0,5 ppm de metilHg	Nivel de acción de la <i>FDA</i>  Nivel de activación local	Dosis de referencia de la <i>US EPA</i> : 0,1 µg de metilHg/kg de peso corporal por día
OMS/FAO	Todos los peces, excepto depredadores Peces depredadores (tales como tiburón, pez espada, atún, lucio y otros)	0,5 mg de metilHg/kg  1 mg de metilHg/kg	Nivel de directrices del Codex Alimentarius de la FAO/OMS	Ingesta semanal tolerable provisional del JECFA: 3,3 µg de metilHg/kg por kilo de peso por semana.

- Nota: 1 Unidades tal como figuran en las referencias; “mg/kg” equivale a “µg/g” y ppm (partes por millón). Se supone aquí que, cuando no se indica “peso húmedo” o “carne húmeda” lo más probable es que los valores límite para el pescado se basen en el peso húmedo, ya que así suele ser cuando se analiza el pescado para los consumidores.
- 2 La Comisión Europea revisó recientemente (en febrero de 2002) los contenidos máximos de mercurio en un pequeño número de especies de peces de consumo (Reglamento (CE) N° 221/2002 de la Comisión de 6 de febrero de 2002). Esos cambios no se reflejan en la tabla.

### Evaluaciones de riesgos realizadas recientemente en los Estados Unidos

265. La Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA), la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR) y el Consejo Nacional de Investigación (National Research Council, NRC) de los Estados Unidos llevaron a cabo recientemente tres evaluaciones exhaustivas sobre los riesgos del metilmercurio. Las tres se resumen en el presente informe, explicando en mayor detalle la de la EPA, ya que es un análisis completo muy reciente y trae el ejemplo de un método científico para estimar un nivel de exposición seguro.

266. La evaluación del NRC fue iniciada por la EPA a solicitud del Congreso de los Estados Unidos, en el marco de un gran proyecto que la Agencia realizó con el fin de analizar los resultados toxicológicos disponibles sobre el metilmercurio que le sirvieran de base para reevaluar su dosis de referencia (reference dose, RfD). La dosis de referencia (DdR) se define generalmente como la “estimación (con un margen de incertidumbre de un orden de magnitud) de la exposición diaria que probablemente no suponga un riesgo apreciable de efectos deletéreos para una población humana (incluyendo los subgrupos vulnerables) durante toda su vida”. La EPA utiliza la DdR del metilmercurio para evaluar las posibilidades de que la exposición a ese compuesto produzca efectos adversos en la salud de seres humanos, así como para establecer directivas para las recomendaciones sobre el consumo de pescado (NRC, 2000; NIEHS, 1998; US EPA, 1997).

267. La DdR es la ingesta (exposición) diaria máxima de metilmercurio que se supone que sea segura. Los riesgos de las exposiciones superiores a la DdR no se conocen con certidumbre, pero aumentan al aumentar la exposición al metilmercurio por encima de la DdR (US EPA, 1997). En 1995, la EPA estableció una DdR basándose en los efectos neurológicos observados en niños expuestos al metilmercurio antes del nacimiento (in-utero) en el incidente de envenenamiento ocurrido en Iraq (datos epidemiológicos transformados en ingestas diarias calculadas a partir de concentraciones de mercurio observadas en el pelo de las madres – divididos por un factor de seguridad de 10 para tener en cuenta la variabilidad biológica y la insuficiencia de datos sobre efectos reproductivos en adultos). En 2000, el comité de evaluación del NRC llegó a la conclusión de que el valor de la DdR de la *US EPA* para el metilmercurio (0,1 micrograms of metilmercurio por kilogramo de peso corporal por día) “es un nivel científicamente justificable para la protección de la salud pública”. Sin embargo, el comité recomendó que la *US EPA* utilizara los resultados del estudio de las Islas Faroe arriba mencionados en vez del estudio de Iraq para determinar una nueva DdR (NRC, 2000). El NRC recomendó utilizar un factor de incertidumbre (FI) no menor de 10 para tener en cuenta la variabilidad de la cinética humana (farmacocinética) y la sensibilidad del cerebro del feto al metilmercurio. Un panel de expertos externos reexaminó el análisis del NRC y los estudios, y, en 2001, la evaluación de la *US EPA* se presentó ((US EPA, 2001b) en el marco de un criterio sobre la calidad del agua.

268. La evaluación de la *US EPA* incluye un análisis minucioso de los estudios sobre el tema, especialmente los realizados sobre los niños de las Islas Faroe y Seychelles. Como estos últimos no concuerdan, se discuten sus puntos débiles y fuertes, así como las posibles razones de la contradicción en los resultados. Ambos estudios se consideraron de alta calidad y no se les pudo detectar defectos graves. Ante esa situación, la *US EPA* decidió utilizar datos del estudio de las Islas Faroe (que mostraban un efecto negativo en el desarrollo neurológico relacionado con las exposiciones al metilmercurio) como punto de partida para calcular la DdR. Contribuyeron a esa conclusión resultados similares obtenidos en un estudio de Nueva Zelanda más pequeño, así como algunos estudios transversales posteriores de otras partes del mundo.

269. La DdR actual se calculó a partir de una dosis de referencia (benchmark dose, BMD) dividida por un factor de incertidumbre de 10. El análisis de esa dosis de referencia (BMD) se basó en el límite inferior de confianza de 95% para un nivel de efectos de 5% (por encima del valor de fondo), aplicando un modelo lineal de datos de dosis-respuesta sobre el mercurio del cordón umbilical. Los datos sobre la sangre del cordón umbilical se convirtieron en ingestas maternas. Varios de los tests neuropsicológicos y un análisis integrado realizados dieron resultados similares con respecto a las dosis de referencia (BMD). La mayoría de esos puntos finales produjeron DdR superiores a 0,1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal por día (comm-24-gov). La DdR de la EPA se basó principalmente en un número de puntos finales neurológicos y en las pruebas obtenidas en el estudio de las Islas Faroe y en el nuevo estudio de Nueva Zelanda, en un análisis integrado de esos dos estudios, y en el estudio de las Islas Seychelles. Otros modelos de análisis de dosis de referencia (Budtz-Jørgensen *et al.*, 2000) resultaron en límites de dosis de referencia más bajos, pero el modelo lineal se consideró el más adecuado (Pirrone *et al.*, 2001). La US EPA eligió un factor de incertidumbre de 10 que tiene en cuenta la variabilidad farmacocinética interindividual, lagunas en el conocimiento sobre los posibles efectos a largo plazo, e incertidumbres acerca de las relaciones entre las concentraciones de mercurio en la sangre del cordón y de la madre, y, como antedicho, la DdR actual de la US EPA se fijó en 0,1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal por día (US EPA, 2001b, y Pirrone *et al.*, 2001). Se estima que, en una mujer adulta, una ingesta diaria promedio de metilmercurio de 0,1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal por día producirá concentraciones de mercurio en el pelo de aproximadamente 1  $\mu\text{g}/\text{g}$ ; en la sangre del cordón umbilical, de unas 5 a 6  $\mu\text{g}/\text{l}$ , y en la sangre, de unas 4 a 5  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Sin embargo, estas estimaciones tienen limitaciones, incertidumbres y variabilidad. Se calcularon a partir de datos y métodos que figuran en US ATSDR, 1999; NRC, 2000; US EPA, 2001b y US EPA, 1997.

270. Basándose en una ración diaria promedio de 17,5 gramos de pescado, la US EPA calculó también el Criterio de Residuos en los Tejidos (Tissue Residue Criterion) of 0,3 mg de metilmercurio por kilogramo de pescado (0,3 mg/kg). Ese límite se pondera para todos los pescados y moluscos que se consumen. Para raciones más grandes, sería necesario establecer un límite más bajo. Además, la US EPA calculó un conjunto de recomendaciones sobre límites de consumo de pescado basándose en la evaluación de riesgos mencionada más arriba; véase la tabla 4.2 (US EPA, 2001b).

271. Los límites del consumo se calcularon como el número de comidas de pescado permisibles por mes, en función de la gama de concentraciones de metilmercurio contenida en los tejidos de pez. Por ejemplo, si el nivel de metilmercurio en los tejidos del pez es de 0,4 mg/kg, se pueden consumir sin riesgo dos comidas de 0,23 kg por mes. Para calcular los límites de consumo, se partió de los siguientes supuestos:

- Peso corporal de un consumidor adulto: 72 kg (se recomendó un menor consumo si el peso corporal es más bajo);
- Cantidad promedio de pescado consumido: 0,23 kg;
- Período promedio de tiempo: un mes (30,44 días);
- Dosis de referencia de la EPA para el metilmercurio (0,1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal por día) sacada de *Water Quality Criterion for the Protection of Human Health: Methylmercury* (US EPA, 2001b).



Tabla 4.2 Límites del consumo de pescado fijado por la US EPA para el metilmercurio (US EPA, 2001b).

Número máximo de comidas de pescado por mes	Concentraciones en el tejido de pez (ppm = mg/kg de peso húmedo)
16	> 0,03–0,06
12	> 0,06–0,08
8	> 0,08–0,12
4	> 0,12–0,24
3	> 0,24–0,32
2	> 0,32–0,48
1	> 0,48–0,97
0,5	> 0,97–1,9
Ninguna (<0,5)*	> 1,9

\* Ninguna = Se recomienda no hacer ningún consumo.

> significa “más de” (por ejemplo, “> 0,06–0,08” significa: “más de 0,06 a 0,08”)

272. Usando un método alternativo, la US ATSDR elaboró su actual Nivel Mínimo de Riesgo (NMR) de 0,3 µg/kg de peso corporal por día para el metilmercurio utilizando los datos sobre el desarrollo infantil de las Seychelles (US ATSDR, 1999). El NMR es una estimación del nivel de exposición que no supone un riesgo apreciable de efectos no cancerígenos para la salud. Fue concebido para que lo usen funcionarios de salud pública como herramienta de selección a fin de determinar los casos en que se justifique evaluar en mayor detalle la posible exposición de seres humanos a sustancias químicas en sitios de desechos peligrosos.

## Europa

273. Las directrices sobre las concentraciones máximas de mercurio en peces y las recomendaciones sobre el consumo de pescado varían algo según los países europeos. En 2001, un grupo de científicos europeos evaluaron los riesgos de la exposición al mercurio en Europa y presentaron su opinión al respecto en el Position Paper on Mercury (Pirrone *et al.*, 2001). Con respecto al metilmercurio, recomendaron que la dosis de referencia de la US EPA se aplicara también en Europa, declarando que:

“Compartimos el punto de vista sustentado por la US EPA y el NRC en sus recientes evaluaciones. No han surgido nuevas informaciones que cambien la evaluación de los riesgos. Además, las consideraciones relativas a EE.UU. también son válidas para la población europea. Por lo tanto, estimamos que la DdR de la US EPA de 0,1 µg/kg de peso corporal por día es adecuada para Europa. Cabe señalar que es aplicable sobre todo a mujeres fértiles y que incluye un factor de incertidumbre.

Se rebasará la dosis de referencia si se ingiere una cantidad considerable de pescado contaminado con mercurio. Por ejemplo, si el consumo semanal es de unos 100 g (una comida de pescado típica por semana) de un pescado que tenga > 0,4 mg/kg, se excederá la DdR, lo cual sugiere que los niveles de mercurio en el pescado se deben mantener por debajo de ese límite.

Sin embargo, el pescado es un componente valioso de la dieta, tanto de adultos como de niños, y una fuente de proteínas, vitamina E, selenio y ácidos grasos omega-3, entre otros nutrientes. Cuando se consume mucho pescado con niveles bajos de mercurio, como en las Islas Seychelles, es posible que las ventajas y las desventajas se hagan mutuo contrapeso. Como el consumo de pescado tiene efectos benéficos, el objetivo a largo plazo no es sustituir el pescado de la dieta por otros alimentos, sino reducir las concentraciones de metilmercurio del pescado. Si eso no es posible, se deben formular recomendaciones para las mujeres embarazadas sobre la restricción del consumo de pescado que tenga niveles altos de metilmercurio”.

274. El documento Compilation of toxicological and environmental data on chemicals – mercury and its derivatives (INERIS, 2000), presentado por Francia, ofrece una vista de conjunto de algunos

valores toxicológicos de referencia de diversos países, así como resúmenes de información general sobre dichos parámetros. Se puede consultar en la página Web de la Evaluación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA, <http://www.chem.unep.ch/mercury/gov-sub/Sub49govatt18.pdf>).

275. Los contenidos máximos de mercurio en el pescado que establece actualmente la UE se pueden hacer más estrictos en los distintos países miembros por razones sanitarias. Por esa razón, algunos Estados miembros de la UE tienen límites más bajos que los que exige la directiva. Debido a altas concentraciones de mercurio en los peces, algunos lagos y ríos están cerrados para la pesca deportiva; por ejemplo, en Suecia. Además, diversos Estados miembros, tales como Dinamarca, Finlandia, Suecia y el Reino Unido, formulan recomendaciones particulares para grupos vulnerables de la población, que pueden incluir a las mujeres embarazadas o que planeen embarazarse, mujeres que amamantan y niños, a fin de que eviten o restrinjan el consumo de pescado en los casos en que se aplique el límite de 1 mg/kg de la UE (Finnish National Authority for Foodstuff, 2002).

### Organizaciones de la ONU

276. En 1978, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) estableció una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) de 200 µg (equivalente a 3,3 µg/kg de peso corporal) para el metilmercurio, que fue confirmada en 1988. En 1999, el Comité evaluó los estudios sobre las Islas Faroe y Seychelles disponibles en ese momento, así como nuevos estudios de toxicidad en el desarrollo neuronal de animales y llegó a la conclusión de que los estudios no daban pruebas coherentes de efectos en el desarrollo neuronal de hijos de madres cuya ingesta de metilmercurio producía cargas en el pelo de 20 µg/g o menos. El Comité no pudo evaluar los riesgos para los complejos y sutiles puntos finales neurológicos utilizados en estos estudios que se asociaran a ingestas menores. En ausencia de indicaciones claras de niveles de riesgo coherentes en esos estudios recientes, el Comité recomendó que se reevaluara el metilmercurio cuando se pudiera analizar la evaluación de 96 meses de la cohorte de las Seychelles y otros datos pertinentes. Por lo tanto, el Comité no revisó la ISTP de 3,3 µg/kg de peso corporal.

#### 4.2.2 Vapor de mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio

277. En el caso del vapor de mercurio, los estudios sobre seres humanos expuestos en el lugar de trabajo han mostrado un efecto ligeramente adverso en el sistema nervioso central y en los riñones a niveles atmosféricos prolongados de 25-30 µg/m<sup>3</sup> o niveles equivalentes de mercurio en la orina de 30-35 µg/g de creatinina. Basándose en el LOAEL del efecto en el sistema nervioso central, la *US EPA* determinó una concentración de referencia (CdR) del vapor de mercurio para la población general de 0,3 µg/m<sup>3</sup> (*US EPA*, 1997). Para calcular la CdR, se tuvo en cuenta una conversión de la exposición ocupacional a la exposición continua de la población general, la falta de datos en los efectos sobre la reproducción, el uso de un LOAEL en vez de un NOAEL y subgrupos susceptibles. La *US ATSDR* estableció un nivel mínimo de riesgo (NMR) de 0,2 µg/m<sup>3</sup>, también basándose en datos ocupacionales<sup>2</sup>. Utilizando el documento de la *ATSDR* como fuente y complementando la información con otros estudios sobre los efectos adversos observados en trabajadores expuestos al vapor de mercurio y estudios sobre la relación entre concentraciones de mercurio en la orina y en la sangre de trabajadores expuestos y en el aire del lugar de trabajo, el *IPCS* fijó la concentración de 0,2 µg/m<sup>3</sup> como valor orientativo para la exposición prolongada del público general al vapor de mercurio metálico por inhalación (*WHO/IPCS*, 2002).

278. En el documento de posición europeo sobre el mercurio (Pirrone *et al.*, 2001), se llegó a la conclusión de que, en las condiciones europeas, la exposición de seres humanos al mercurio elemental

<sup>2</sup> Estados Unidos, en sus comentarios sobre el informe (comm-24-gov), declaró lo siguiente como observación sobre la evaluación de riesgos presentada por Pirrone *et al.* (2001): “El Gobierno de Estados Unidos ha utilizado los mejores datos disponibles para determinar los niveles de exposición seguros. Esas estimaciones son considerablemente mayores que el valor de 0,05 µg/m<sup>3</sup> que se examina en este párrafo (eds.: Cita de la evaluación de riesgos de Pirrone *et al.*), pero se considera sin embargo que protegen la salud”.

en el aire ambiente generalmente es insignificante. Como se menciona en otra parte, la situación puede ser diferente en regiones que tiene cargas más grandes de contaminación atmosférica directa. Se presentó la siguiente evaluación de riesgos:

“En el caso del vapor de mercurio, los estudios sobre seres humanos expuestos en el lugar de trabajo han mostrado efectos adversos leves sobre el sistema nervioso central y los riñones y probablemente también en la tiroides, a niveles atmosféricos prolongados de 25-30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  o niveles equivalentes de mercurio en la orina de 30-35  $\mu\text{g}/\text{g}$  de creatinina. La *US EPA* determinó una concentración de referencia (CdR) del mercurio de 0,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para la población general (*US EPA*, 1997). Estudios recientes sugieren que el límite para los efectos adversos (LOAEL) en sujetos expuestos en el lugar de trabajo puede ser más bajo que el indicado más arriba. No hay un acuerdo universal acerca de los factores de incertidumbre que se deben utilizar. En trabajos que se están realizando acerca del documento de posición de la UE sobre el arsénico, cadmio y níquel, se utilizaron factores de 5-10 para convertir de forma similar una exposición ocupacional en una exposición continua, factores de 5-10 para fijar un LOAEL y un factor de 10 para la variación de la susceptibilidad. El factor total fue de 500. Un procedimiento similar produciría un valor límite para el mercurio elemental de 0,05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Proponemos usar 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como punto de partida, un factor de 10 para la exposición continua de la población general durante toda la vida y factores de incertidumbre de 5 para usar un LOAEL y 10 para la susceptibilidad individual. El valor límite propuesto será entonces de 0,05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , como promedio anual. Sin embargo, esa concentración atmosférica rara vez se sobrepasa en el aire ambiente en Europa. La dosis típica de mercurio absorbida por adultos sería de 0,6-0,8  $\mu\text{g}$  por día. La exposición a mercurio elemental debido a las amalgamas dentales en la mayoría de los casos representa una ingesta diaria mucho mayor que la que podría ocasionar ese nivel (*WHO/IPCS*, 1991)”.

279. Los estudios sobre seres humanos expuestos no dan suficiente información para calcular ingestas aceptables de compuestos de mercurio inorgánico; por lo tanto, basándose en la concentración sin efecto adverso observado y la concentración más baja con efecto adverso observado en experimentos con animales a mediano y largo plazo, la *ATSDR* y el *IPCS* calcularon un valor orientativo de 0,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal por día para los compuestos inorgánicos de mercurio (*US ATSDR*, 1999; *WHO/IPCS*, 2002).

### 4.3 Vías de exposición al mercurio – panorama general

280. Como se señaló en párrafos anteriores, la población general está expuesta principalmente al metilmercurio por los alimentos (especialmente el pescado) y a los vapores de mercurio elemental por las amalgamas dentales.

281. La exposición humana a las tres formas principales de mercurio presente en el medio ambiente se resume en la tabla 4.3 de la sección 4.3.1. Si bien la elección de valores es algo arbitraria, esa tabla ofrece una perspectiva de la magnitud relativa de las aportaciones de los diversos medios. Los seres humanos pueden estar expuestos a cantidades adicionales de mercurio en el lugar de trabajo y en zonas muy contaminadas, y a otras formas de mercurio; por ejemplo, a compuestos con grupos arilo y alcoxiarilo, que todavía se usan como fungicidas en algunos países. Los párrafos siguientes tratan en mayor detalle de aportaciones generales a la exposición humana al mercurio, examinadas por Pirrone *et al.* (2001), excepto el texto sobre exposición ocupacional.

#### Vapores de mercurio elemental del medio ambiente y amalgamas dentales

282. Con respecto a los vapores de mercurio metálico, los empastes dentales y, en menor medida, el aire ambiente son las dos fuentes principales de exposición para la población en general. La cantidad diaria absorbida de la atmósfera que entra al torrente sanguíneo por exposición respiratoria en los adultos es de unos 32 ng de mercurio en zonas rurales y de unos 160 ng en zonas urbanas, suponiendo concentraciones rurales de 2  $\text{ng}/\text{m}^3$  y concentraciones urbanas de 10  $\text{ng}/\text{m}^3$  (tasa de absorción de 80%).

283. Las aportaciones locales de mercurio en suspensión en el aire pueden ser muy variables, dependiendo de las emisiones de fuentes locales. Por ejemplo, la India informa en su presentación (sub71govatt1) que se observó una exposición elevada en una zona muy afectada por emisiones de centrales térmicas. Otro ejemplo es la presentación de la República Eslovaca, que informa de una concentración en el aire ambiente de zonas urbanas de Eslovaquia situada en la gama de 1,7 – 20 ng/m<sup>3</sup> (media geométrica de 4,57 ng/m<sup>3</sup>) y, en zonas industriales, en la gama de 1,5–40 ng/m<sup>3</sup> (media geométrica de 5,28 ng/m<sup>3</sup>), registrándose los niveles más altos en zonas de industria metalúrgica y combustión de carbono (Hladiková *et al.*, 2001, presentado en sub10gov). Asimismo, en el caso de algunos tipos de fuentes de emisiones, como las plantas de cloro-álcali, puede haber concentraciones atmosféricas elevadas en la zona opuesta a aquella de donde viene el viento.

284. La liberación de mercurio de empastes de amalgama ha sido examinada por Clarkson *et al.* (1988). Se llegó a la conclusión de que las superficies de las amalgamas liberan vapores de mercurio en la boca, y que ésta es la fuente principal de exposición humana al mercurio elemental en la población general. Dependiendo del número de empastes de amalgama, se estima que la absorción diaria promedio de vapor de mercurio proveniente de empastes dentales varía entre 3 y 17 µg de mercurio (WHO/IPCS, 1991; Clarkson *et al.*, 1988; Skare and Engqvist, 1994). En raros casos, los niveles de mercurio en la sangre debidos a las amalgamas dentales pueden ascender a 20 µg/l (Barregard *et al.* 1995, citado por Pirrone *et al.*, 2001). Los efectos de la exposición debida a las amalgamas dentales han sido ampliamente discutidos y examinados (US Public Health Service, 1993, citado por Pirrone *et al.*, 2001, y otros). Sin embargo, el Grupo de Trabajo para la Evaluación Global sobre el Mercurio, cumpliendo su mandato, se concentró en las exposiciones ambientales al mercurio y sus efectos adversos en la salud, y no examinó ni evaluó los efectos potenciales de las exposiciones a vapores de mercurio elemental procedentes de amalgamas dentales o la posible conversión a otras formas de mercurio en el cuerpo. Además, el Grupo de Trabajo no llegó a ninguna conclusión sobre la posibilidad de que las amalgamas dentales produzcan efectos adversos.

### **Exposición no ocupacional en la atmósfera interior de locales cerrados**

285. Se dispone de muy pocos datos sobre la exposición humana no ocupacional a vapores de mercurio en la atmósfera de interiores. Sin embargo, han ocurrido muertes y graves envenenamientos al calentar en el hogar mercurio metálico y objetos que contenían mercurio. Asimismo, se ha observado vapor de mercurio en ciertas incubadoras para bebés prematuros a niveles que se aproximan a los valores límite de las exposiciones ocupacionales, siendo la fuente las gotitas de mercurio desprendidas de termostatos rotos. Además, el uso de mercurio metálico en prácticas religiosas, étnicas o rituales puede ocasionar exposiciones de nivel considerable. Éstas pueden ocurrir en el curso de dichas prácticas y posteriormente debido a la contaminación del aire del interior de los locales. Se han señalado diversas actividades que ocasionan la exposición de seres humanos a mercurio: salpicar mercurio elemental en el interior de casas o automóviles, mezclar mercurio con el agua del baño o perfume, o añadir mercurio a velas y candelas (US ATSDR, 1999).

286. Los niveles de mercurio en el aire de interiores también pueden elevarse si hay fugas en los termostatos de la calefacción central y si se usan aspiradoras cuando se rompen termómetros u ocurren otros derrames. Otra fuente de exposición a vapores de mercurio ha sido la liberación de mercurio de pinturas que contienen compuestos de ese metal utilizados para prolongar la conservación en almacenamiento de la pintura látex para interiores, en que se han señalado concentraciones de 0,3-1,5 µg Hg/m<sup>3</sup> (Beusterien *et al.*, 1991). Sin embargo, como se explicó en otras secciones del presente informe, el uso de mercurio en pinturas ha disminuido considerablemente en muchos países del mundo; por lo tanto, es posible que esta fuente de exposición hoy día sea menos común que hace 10 o 30 años.

### **Agua potable**

287. El mercurio generalmente se encuentra en el agua potable en la gama de 0,5-100 nanogramos de mercurio por litro de agua (ng Hg/l), con un valor promedio de unos 25 ng Hg/l. Las formas de mercurio en el agua potable no están bien estudiadas, pero el Hg(II) es probablemente la especie predominante, presente en complejos y quelatos con ligandos. La ingesta procedente del agua potable es de unos 50 ng de mercurio por día, principalmente en forma de Hg(II); se absorbe sólo una pequeña

fracción. Se ha señalado la presencia de metilmercurio en agua potable en ciertas condiciones. Sin embargo, se considera bastante inusual (USA; comm-24-gov).

### Alimentos

288. La concentración de mercurio en la mayoría de los alimentos a menudo es inferior al límite de detección (generalmente 20 ng de Hg por gramo de peso fresco) (US EPA, 1997). Los peces y los mamíferos marinos son las fuentes principales, sobre todo de compuestos de metilmercurio (70-90% o más del total). Las concentraciones normales de mercurio en tejidos comestibles de diversas especies de peces abarcan una amplia gama, generalmente entre 0,05 y 1,400 mg/kg de peso fresco húmedo, dependiendo de factores tales como el pH y el potencial redox del agua, y la especie, edad y tamaño del pez (véanse las secciones 4.4 y 4.5). Los peces depredadores grandes, como la caballa gigante (carite lucio), lucio, tiburón, pez espada, lucioperca americana, barracuda, espadilla y marlín, así, como las focas y ballenas dentadas, contienen las concentraciones medias más altas. Si bien el atún grande en general tiene niveles de mercurio similares a los de otros peces depredadores grandes, los datos indican que los niveles que generalmente se observan en el atún enlatado son sustancialmente menores. La razón es que el atún que actualmente se utiliza para conserva es de tamaño más pequeño.

289. La ingesta de mercurio depende no sólo del nivel de mercurio en el pescado, sino también de la cantidad de pescado que se consume. Por esa razón, muchos gobiernos han formulado recomendaciones alimentarias para que la población limite el consumo en los casos en que los niveles de mercurio sean elevados. En las recomendaciones sobre el consumo de pescado generalmente se tiene en cuenta las concentraciones sospechosas, la cantidad de pescado – o conserva de pescado – que se consume y las pautas de consumo.

290. La ingesta del pescado y productos de pescado, promediada a lo largo de meses o semanas, se traduce en una absorción diaria promedio de metilmercurio que, según se estimó de diversas maneras (en el decenio de 1970), varía entre 2 y 4,7 µg de mercurio (WHO/IPCS, 1976). La absorción de compuestos inorgánicos de mercurio de los alimentos es difícil de estimar porque en muchos de éstos los niveles de mercurio total se aproximan al límite de detección, y la especie química y el enlace del mercurio a los ligandos generalmente no se han identificado. La ingesta diaria promedio de mercurio total de la dieta se ha medido durante varios años en diversos grupos de edad. La ingesta de mercurio total de la dieta (µg/día) medida durante un estudio de la canasta de alimentos (1984-1986) de la Administración de Drogas y Alimentos (*Food and Drug Administration, FDA*) en Estados Unidos (WHO/IPCS, 1990) por grupo de edad, era de: 0,31 µg (6-11 meses); 0,9 µg (2 años) y 2-3 µg en adultos. En dos estudios realizados en Bélgica, se estimó que la ingesta de mercurio total proveniente de todos los alimentos variaba entre 6,5 µg y 13 µg de mercurio (Fouasuin y Fondu, 1978; Buchet *et al.*, 1983).

### Exposición ocupacional

291. El mercurio que se encuentra en el entorno de trabajo puede ocasionar exposiciones elevadas. Como se describe en el capítulo 3 sobre toxicología humana, una cantidad considerable de conocimientos sobre los efectos tóxicos del mercurio y sus compuestos se ha adquirido gracias a la investigación de las exposiciones ocupacionales. Dependiendo de los tipos de actividades ocupacionales y amplitud de las medidas protectoras que se apliquen, la gravedad de los efectos puede variar entre trastornos sutiles, serios perjuicios y muerte. Las exposiciones ocupacionales pueden tener lugar en prácticamente todos los ambientes de trabajo en que el mercurio se produzca, forme parte de un proceso o se incorpore en productos. Se han señalado casos de exposición ocupacional, entre otros lugares, en plantas de cloro-álcali, minas de mercurio, extracción de oro por medio de mercurio, procesado y venta, fábricas de termómetros, clínicas dentales con prácticas incorrectas de manejo de mercurio y producción de sustancias químicas que contienen mercurio (US ATSDR, 1999).

292. En muchos países se ha logrado un aumento general de la protección contra la exposición ocupacional en los últimos decenios, gracias a la introducción de una variedad de mejoras, entre ellas sistemas de fabricación más cerrados, mejor ventilación, procedimientos de manipulación seguros, equipos de protección personal, y la sustitución de tecnologías a base de mercurio. Sin embargo, esa

mejora no parece ser un logro universal y muchos trabajadores todavía pueden estar expuestos a niveles de mercurio que presenten riesgos.

293. Un ejemplo de la posibilidad de introducir mejoras gracias a la implementación de tales medidas y sustituciones es el señalado por Zavaris (1994) relativo a las concentraciones de mercurio a las que están expuestos empleados de determinadas industrias, a saber, las de cloro y álcalis, lámparas eléctricas, pilas e instrumentos de control. Al principio, aproximadamente 17% de los trabajadores excedían los límites legales de mercurio en la orina. Tras introducirse mejoras en el entorno de trabajo de las industrias involucradas y, en algunos casos, procederse a la sustitución de la tecnología que utilizaba mercurio, más del 98% de las concentraciones urinarias habían vuelto a la gama de concentraciones normales (resúmenes de estudios sobre exposición ocupacional y protección/sustitución industrial, presentados por Brasil, sub66govatt6).

294. Un estudio de la ONUDI informó de los efectos de la intoxicación por mercurio en la zona de explotación aurífera de Diwalwal, dominada por Monte Diwata (también conocido como Mt. Diwalwal), en la isla de Mindanao – una de las grandes islas de las Filipinas. En el momento del estudio, más del 70% (73 de 102) de la población expuesta en el lugar de trabajo sufría de intoxicación de mercurio crónica. En el subgrupo de trabajadores de la fundición de amalgamas, el porcentaje era aún mayor – 85,4%. De la población de la zona del Mt. Diwata y aguas abajo no expuesta ocupacionalmente, aproximadamente un tercio (55 de 163) mostraba signos de intoxicación crónica de mercurio, incluyendo síntomas tan clásicos como problemas de memoria, agitación, pérdida de peso, fatiga, temblor, trastornos sensoriales y coloración azulada de las encías (Böse-O'Reilly *et al.*, 2000).

### Otras exposiciones

295. La exposición a compuestos orgánicos o inorgánicos de mercurio o a mercurio elemental podría tener lugar debido al uso de ese metal en cremas para aclarar la piel, medicamentos tradicionales, prácticas rituales o ciertos productos farmacéuticos (US ATSDR, 1999; Pelcova *et al.*, 2002). Por ejemplo, el timerosal (tiosalicilato de etilmercurio), también conocido como tiomersal, se usa como conservador de algunos tipos de vacunas e inmunoglobulinas en partes del mundo. El uso de algunas medicinas tradicionales chinas o asiáticas también puede dar lugar a exposiciones considerables (Ernst y Coon 2001; Koh y Woo, 2000; Garvey *et al.*, 2001).

### Exposiciones medias estimadas

296. La OMS (1990) estimó la ingesta diaria de cada forma de mercurio como figura en la tabla 4.3. Para más detalles sobre la metodología e hipótesis empleadas, véase la referencia original. Esta tabla presenta las ingestas medias estimadas para las diferentes vías de exposición. Sin embargo, las exposiciones varían considerablemente en las poblaciones. Por ejemplo, las personas que consumen mayores cantidades de pescado contaminado con mercurio evidentemente sufrirán mayores exposiciones al metilmercurio que las indicadas en la tabla.

Tabla 4.3 Ingesta diaria promedio estimada y retención en el cuerpo (esta última entre paréntesis) de diferentes formas de mercurio en una situación aplicable a la población general no expuesta al mercurio en el lugar de trabajo; valores en  $\mu\text{g}/\text{día}$  (WHO/IPCS, 1991; para más detalles, consúltese la referencia).

Exposición	Vapores de Hg elemental	Compuestos inorgánicos de Hg	Metilmercurio
Aire	0,03 (0,024)*	0,002 (0,001)	0,008 (0,0069)
Amalgamas dentales	3,8-21 (3-17)	0	0
Alimentos			
- Pescado	0	0,60 (0,042)	2,4 (2,3)**
- Otros alimentos, excepto pescado	0	3,6 (0,25)	0
Agua potable	0	0,050 (0,0035)	0
Total	3,9-21 (3,1-17)	4,3 (0,3)	2,41 (2,31)

Nota: Los datos entre paréntesis representan la parte de las aportaciones de mercurio que se retienen en el cuerpo de un adulto.

\* Si se supone que la concentración es de  $15 \text{ ng}/\text{m}^3$  en una zona urbana, la cifra sería de  $0,3 (0,24) \mu\text{g}/\text{día}$ .

\*\* Se supone 100 g de pescado por semana con una concentración de mercurio de  $0,2 \text{ mg}/\text{kg}$ .

297. Al relacionar las ingestas de las distintas especies de mercurio de la tabla 4.3, hay que recordar que sus efectos tóxicos varían<sup>3</sup>. Por lo tanto, no es contradictorio que las ingestas de metilmercurio sean inferiores a las ingestas de otras formas de mercurio; en general producen el mayor efecto adverso de los compuestos de mercurio en los seres humanos.

#### 4.3.3 Aspectos generales de la ingesta de mercurio de los alimentos

298. Es difícil estimar con exactitud las ingestas diarias y la retención de mercurio proveniente de los alimentos. En la mayor parte de los alimentos, la concentración de mercurio es inferior a  $20 \mu\text{g}/\text{kg}$ . Se sabe que el mercurio se bioconcentra en organismos acuáticos y se biomagnifica en las redes tróficas acuáticas. Por ejemplo, la concentración de mercurio en peces pequeños que se encuentran a un nivel bajo de la red trófica (como las anchoas) es inferior a  $0,085 \text{ mg}/\text{kg}$ , mientras que en el pez espada, el tiburón y el atún, con frecuencia se señalan valores superiores a  $1,2 \text{ mg}/\text{kg}$  (WHO/IPCS, 1991). En peces depredadores de agua dulce de Escandinavia (perca y lucio) los niveles medios rondan los  $0,5 \text{ mg}/\text{kg}$ .

299. La utilización de harina de pescado como alimento de aves de corral y otros animales destinados al consumo humano puede producir un aumento en los niveles de mercurio. En Alemania, las aves de corral contienen  $0,03 - 0,04 \text{ mg}/\text{kg}$ . El ganado bovino es capaz de desmetilar el mercurio en el rumen; por lo tanto, la carne y la leche de bovino contienen concentraciones muy bajas de mercurio.

300. Uno de los principales problemas para estimar con exactitud las ingestas diarias de diversas formas de mercurio de la dieta es que los programas de estudios nacionales informan principalmente sobre concentraciones de mercurio total, pero el porcentaje de mercurio como metilmercurio no se conoce. En la tabla 4.4 figuran ingestas diarias de mercurio total señaladas en diversos países. En algunos estudios nacionales, se indica el porcentaje de mercurio procedente del pescado. Se supone que en este alimento (el pescado), el porcentaje de metilmercurio sea de 60 a 90%. Por lo tanto, el pescado y los productos de pescado representan la fuente principal de metilmercurio. Se puede sacar la conclusión de que, en las zonas donde el consumo de pescado representa una parte considerable de la dieta, las exposiciones podrían ser considerablemente superiores al valor de la DdR de la US EPA.

<sup>3</sup>En el cuerpo se convierte cierta proporción de mercurio elemental y, por lo tanto, las especies a las que se exponen los seres humanos podrían no ser las especies que realmente provocan los mecanismos toxicológicos específicos.

Tabla 4.4 Estimaciones de la ingesta diaria típica de mercurio procedente de fuentes alimentarias en una selección de países. (presentadas por Pirrone *et al.*, 2001).

País	Ingesta ( $\mu\text{g}/\text{día}$ )	Referencias
Bélgica	De todos los alimentos: 13; sólo del pescado, 2,9 De todos los alimentos: 6,5	Fouassin y Fondu, 1978 Buchet <i>et al.</i> , 1983
Polonia	5,08 ( grupo de edad 1-6 años) 5,43 (grupo de edad 6-18 años) 15,8 en adultos Del pescado: 7% de la ingesta total procedente de la dieta	Szprengier-Juszkiewicz, 1988 Nabrzyski and Gajewska, 1984
Alemania	0,8 del pescado 0,2 de los alimentos (excepto pescado y hortalizas)	LAI, 1996
Croacia	Del pescado: 27,7 (Hg total) 20,8 ( en forma de MeHg)	Buzina <i>et al.</i> , 1995
España	4-8 (60-90 % de alimentos de origen marino); en Valencia sólo 27% procede de alimentos de origen marino. 18, de los cuales unos 10 proceden del pescado (País Vasco).	Moreiras <i>et al.</i> , 1996 Urieta <i>et al.</i> , 1996
Suecia	1,8 (canasta de alimentos)	Becker y Kumpulainen, 1991
Reino Unido	2	MAFF, 1994
Finlandia	2	Kumpulainen and Tahvonen, 1989
Países Bajos	0,7	Van Dokkum <i>et al.</i> , 1989
República Checa	0,7	Ruprich, 1995
Brasil	315 – 448 (ríos Amazonas, Medeira)	Boishio y Henshel, 2000
Japón	10 6,9 –11,0 24 (18 como MeHg)	Tsuda <i>et al.</i> , 1995 Ikarashi <i>et al.</i> , 1996 Nakagawa <i>et al.</i> , 1997

301. Pirrone *et al.* (2001) ofrecen la siguiente conclusión sobre las pautas generales de exposición en Europa:

“Los vapores de mercurio son un riesgo cuya importancia disminuye en Europa conforme dejan de utilizarse los termómetros y otros instrumentos que contienen mercurio, y se reducen las emisiones de la industria de cloro-álcali. Además, sólo una mina de mercurio sigue funcionando actualmente en Europa. Nuevos adelantos en las tecnologías dentales han permitido crear materiales de empaste que pueden reemplazar la amalgama en muchas aplicaciones.

El riesgo del metilmercurio dependerá de los hábitos alimentarios y fuentes locales de pescado y mariscos contaminados. Las exposiciones considerables documentadas en la población de las Islas Faroe, Groenlandia y otros lugares nórdicos se deben principalmente a la ingestión de mamíferos marinos. Por lo tanto, la magnitud de este problema en Europa es limitada. Sin embargo, un estudio de la isla de Madeira mostró que el consumo del sable negro local ocasionó exposiciones medias al metilmercurio mayores que las de las Islas Faroe. De modo semejante, se ha demostrado la presencia de mercurio en mariscos del mar Tirreno en concentraciones que coinciden con las que se observan en la carne de calderón. Por lo tanto, en Europa tienen lugar exposiciones excedentarias, que pueden alcanzar e incluso sobrepasar los niveles observados en poblaciones en que se han documentado efectos adversos en el desarrollo del cerebro”.

302. Esta conclusión posiblemente se aplique a grandes partes del mundo occidental.



## 4.4 Exposición por dieta a base de pescado y mamíferos marinos

303. En las secciones siguientes se presentan ejemplos de datos sobre la exposición al metilmercurio presente en dietas a base de pescado en distintas partes del mundo, a saber: Suecia, Finlandia, Estados Unidos de América, el Ártico, Japón, China, Indonesia, Papúa Nueva Guinea, Tailandia, República de Corea, la cuenca del río Amazonas y Guayana Francesa. En algunos de esos países o regiones, las deposiciones de mercurio han incidido a lo largo de los años en los niveles de contaminación por dicho metal y en los últimos decenios se han tomado medidas para reducir las emisiones nacionales. Sin embargo, las emisiones de mercurio se difunden a grandes distancias en la atmósfera y los océanos. Eso significa que aún los países que producen emisiones mínimas de mercurio a nivel local y nacional, y zonas muy alejadas de actividades humanas intensas, pueden resultar perjudicadas de modo similar. Por ejemplo, se han observado exposiciones altas al mercurio en el Ártico, a gran distancia de fuentes de emisión importantes.

304. Un número de países y organizaciones internacionales han presentado datos sobre concentraciones de mercurio en el pescado. Además, la literatura informa de numerosas investigaciones sobre los niveles de ese metal en el pescado. En este capítulo se resumen los datos presentados como ejemplo de las concentraciones de mercurio en el pescado en diversas partes del mundo. El panorama general muestra que el mercurio está presente en todo el globo en concentraciones que pueden afectar a los seres humanos y a la vida silvestre.

### 4.4.1 Exposición por dieta a base de pescado en Suecia y Finlandia

305. Según von Rein y Hylander (2000), el pescado siempre ha sido una parte importante de la dieta de Suecia, gracias a las extensas costas y numerosos lagos y ríos que tiene ese país. Hoy día, debido al contenido de mercurio en el pescado, se dan recomendaciones minuciosas sobre el consumo de peces de agua dulce, tales como el lucio, lucioperca, lota de río y anguila. A las mujeres de edad fértil se les recomienda que no coman de ningún modo esos peces de los lagos de Suecia y, al resto de la población, que no los coman más de una vez por semana. Basándose en grandes conjuntos de datos, se ha estimado que, en alrededor del 50% de los aproximadamente 100.000 lagos que tiene Suecia, un lucio de 1 kg de peso contiene niveles de mercurio superiores al límite internacional fijado por la OMS/FAO en 0,5 mg de mercurio/kg de peso húmedo y que, en el 10% de los lagos, el lucio contiene más de 1 mg/kg peso húmedo (Lindquist *et al.*, 1991). Se calcula que la deposición de mercurio en Suecia debe disminuir un 80% del nivel que tenía a finales del decenio de 1980 a fin de reducir el contenido de mercurio en el pescado de ese país por debajo de 0,5 mg de mercurio/kg de peso húmedo. Las emisiones atmosféricas procedentes de fuentes puntuales situadas en Suecia han disminuido a alrededor de una tonelada métrica por año desde los valores máximos del decenio de 1960 que ascendían a unas 30 toneladas métricas por año, y las liberaciones al agua se han reducido de modo semejante (Naturvårdsverket, 1991). La mayor parte de la deposición actual de mercurio en Suecia se debe al transporte atmosférico a grandes distancias desde otros países (Håkansson and Andersson, 1990; Iverfeldt *et al.*, 1995), lo cual significa que, para alcanzar el objetivo del 80% de reducción, las emisiones de Europa y otras partes del hemisferio norte también se deben reducir más. Hay indicaciones de que recientemente se han logrado reducciones en la deposición y, en los últimos decenios, se ha observado un descenso general de alrededor de un 20% en las concentraciones de mercurio en el pescado de Suecia (Johansson *et al.*, 2001).

306. La acumulación de mercurio en el pescado de Finlandia también se ha estudiado durante varios decenios (Louekari *et al.*, 1994). A fines del decenio de 1960, alrededor del 10-15% de los lagos y aguas litorales de Finlandia contenían altas concentraciones de mercurio producidas principalmente por descargas acuosas de la industria de pulpa y papel, y la producción conexas de cloro y álcalis mediante el uso de mercurio. Las concentraciones medias de mercurio en el lucio de agua dulce y de aguas litorales salobres alcanzaban un promedio de 1,52 mg/kg de peso húmedo en ese momento. Desde el abandono en 1968 del uso de compuestos de mercurio en fungicidas en la producción de papel de Finlandia y la disminución de la demanda de cloro en dicha industria, las liberaciones de mercurio se han reducido considerablemente. En 1990, las concentraciones medias de mercurio en los lucios de esas aguas habían disminuido a 0,60 mg/kg de peso húmedo (las concentraciones en lucios de agua dulce eran

generalmente más altas que en los de aguas salobres). Louekari *et al.* (1994) combinaron esas constataciones con las obtenidas en estudios sobre la dieta y calcularon ingestas diarias estimadas de mercurio en diferentes segmentos de la población de consumidores, y la influencia relativa del consumo de lucio y otros pescados. En 1967/68, las ingestas de mercurio del segmento de agricultores más dependientes del pescado capturado localmente se estimaron en 22 µg /día en zonas muy contaminadas con ese metal. En 1990 se estimaron ingestas similares de 15 µg de mercurio por día. Para oficinistas, que consumen una menor cantidad de pescado capturado localmente, las ingestas correspondientes eran de 13 y 8 µg de mercurio por día.

307. El límite de la concentración de mercurio de 0,5 mg/kg en el pescado, recomendado por la OMS/FAO, es excedido en los lucios (*Esox lucius*) de 1 kg de peso en el 85% de los lagos del sur y centro de Finlandia (22.000 lagos) (Lindquist *et al.*, 1991; Verta 1990; todos en Pirrone *et al.*, 2001).

#### 4.4.2 Exposición por dieta a base de pescado en Estados Unidos

308. A mediados del decenio de 1990, la *US EPA* estimó, a partir de estudios nacionales exhaustivos sobre la dieta, que hasta un 5% de las mujeres en edad fértil (15-44 años de edad) en Estados Unidos consumían 100 gramos o más de pescado y mariscos. La OMS recomienda "consideraciones especiales" con respecto a la exposición al mercurio de personas que consumen más de 100 g/día. Además, la *US EPA* calculó, a partir de los mismos estudios sobre la dieta combinados con concentraciones medias de mercurio total en las especies de pescado consumido, que es posible que 7% de las mujeres de Estados Unidos en edad fértil estén expuestas a una concentración superior a la DdR de la *US EPA* (véase la sección 4.2.1). Un estudio reciente de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) de Estados Unidos sobre las concentraciones de mercurio medidas en la sangre y el pelo en un grupo representativo de mujeres de Estados Unidos de 16-49 años de edad (alrededor de 1.700 mujeres) confirmó esos cálculos, ya que aproximadamente 8% de ellas tenían niveles de mercurio en el pelo y la sangre que excedían los niveles correspondientes a la DdR de la *US EPA* (CDC, 2001; Schober *et al.*, 2003). Los CDC también recogieron muestras de pelo y sangre en el año 2002, pero los resultados todavía no están disponibles. Además, los CDC planean continuar en el futuro las mediciones en la sangre, pero no prevén proseguir las del pelo después del año 2002.

309. La *US EPA* observó que los resultados calculados guardaban relación con las especies de pescado elegidos comúnmente y que "el consumo de pescado con niveles de mercurio superiores al promedio puede representar una fuente considerable de exposición al metilmercurio para consumidores de tales especies" (se han medido concentraciones elevadas de mercurio en los peces de un número considerable de masas de agua dulce de Estados Unidos). En su caracterización de los riesgos, la *US EPA* llegó a la conclusión de que "la mayor parte de los consumidores estadounidenses no necesitan preocuparse acerca de su exposición al mercurio", pero la exposición de "las personas que consumen grandes cantidades de pescado en forma regular y frecuente" (especialmente de especies con concentraciones elevadas de mercurio) puede ser motivo de preocupación (*US EPA*, 1997).

310. En Estados Unidos, 41 estados han emitido recomendaciones a los consumidores de pescado debido al mercurio presente en una o más masas de agua dulce y 13 estados han emitido recomendaciones para todo el estado. El mercurio es la razón más frecuente de la emisión de recomendaciones a los consumidores de pescado en Estados Unidos, representando el 79% del total de avisos a los consumidores (en diciembre de 2000; *US EPA*, 2001a). La *US EPA* ha presentado un conjunto de recomendaciones generales sobre el consumo de pescado. Por ejemplo, el pescado que contenga concentraciones de mercurio de 0,48 a 0,97 mg de metilmercurio/kg de peso húmedo no se debería comer más de una vez por mes; el que contenga de 0,97 a 1,9 mg/kg de peso húmedo, no más de una vez cada dos meses, y el que contenga más de 1,9 mg/kg de peso húmedo no se debería comer nunca (*US EPA*, 2001a); al respecto, véase la tabla 4.2 de la sección 4.2.1.

311. El pescado que se vende en el comercio en Estados Unidos se encuentra bajo la jurisdicción de la Administración de Drogas y Alimentos (*FDA*), que indica niveles de intervención para concentraciones de mercurio en el pescado y los mariscos. El nivel actual de intervención de la *FDA* (en 1998) es de 1 ppm (1 mg/kg) de mercurio total y se basa en efectos en la salud. Como se ilustra en la

tabla 4.5 de la sección 4.5, los peces de agua dulce de Estados Unidos pueden contener concentraciones de mercurio que exceden el nivel de intervención de la *FDA* de 1 ppm. Las concentraciones que se encuentran en algunas especies marinas, tales como el tiburón, pez espada y carite lucio, en general son igualmente elevadas. La concentración de metilmercurio en especies marinas comercialmente importantes es en general casi diez veces menor que el nivel de intervención de la *FDA* en Estados Unidos. El Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS) de Estados Unidos ha estado vigilando los niveles de mercurio en los peces marinos durante por lo menos 20 años. Los datos sobre peces marinos han mostrado que los niveles de mercurio en ese lapso son relativamente constantes en las diversas especies. No existen datos comparables sobre las tendencias en los peces de agua dulce, aunque sí hay datos sobre sitios litorales y estuarinos (US EPA, 1997).

312. Véase asimismo la descripción de las estadísticas canadienses relacionadas con el mercurio en los ecosistemas acuáticos, incluyendo un mapa sobre las concentraciones de mercurio en los peces del país, en la sección 5.3.

#### 4.4.3 Exposición por dieta a base de alimentos marinos en el Ártico

313. El informe exhaustivo del Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico (Arctic Monitoring and Assessment Program, AMAP, 1998) sobre problemas de contaminación en esa región describe las altas exposiciones que experimentan sus poblaciones. El *AMAP* y otras actividades del Consejo del Ártico relativas al mercurio cubren toda la región ártica y este metal es una sustancia prioritaria en las evaluaciones y proyectos de reducción de la contaminación. He aquí algunos ejemplos de la exposición al mercurio en Groenlandia.

314. Como gran parte de la población de la región, la dieta de los habitantes de Groenlandia se compone de una alta proporción de mamíferos marinos y pescado. La dieta es también una parte muy importante de la cultura e identidad de los groenlandeses.

315. La concentración y distribución del mercurio en los seres humanos de Groenlandia se ha estudiado minuciosamente en los últimos 15 años. Se han realizado estudios en adultos, mujeres embarazadas y niños recién nacidos en la mayor parte de Groenlandia, incluyendo los distritos donde se practica la caza y las zonas con mayor densidad de población. En todas las regiones estudiadas, los factores determinantes de la exposición al mercurio eran la ración diaria de carne de mamíferos marinos. A nivel regional, las concentraciones de mercurio en la sangre eran directamente proporcionales al número registrado de focas capturadas (y consumidas), lo cual indica que la concentración de mercurio en la carne es probablemente similar en todas las regiones de Groenlandia (Hansen, 1990). En adultos, las concentraciones más bajas de mercurio en la sangre completa se encuentran en el sudoeste, pero aumentan hacia el norte, donde el consumo de mamíferos marinos es mayor – véase la figura 4.1.

316. En el norte de Groenlandia, 16% de la población adulta estudiada presentaba concentraciones de mercurio en la sangre que excedían los 200 µg/l, que es el nivel considerado por la OMS como la concentración mínima en la sangre que es tóxica para los adultos, excluyendo mujeres embarazadas (AMAP, 1998). Más del 80% de la población del norte de Groenlandia sobrepasaba los 50 µg/l de sangre (Hansen y Pedersen, 1986), que corresponde casi a la dosis de referencia (BMD) del informe del US NRC (2000). Se prevé que, tras una ingesta diaria promedio de unos 4 µg de metilmercurio por kilogramo de peso corporal por día, el nivel en la sangre sea de aproximadamente 200 µg/l. Del mismo modo, se prevé que una ingesta diaria de alrededor de 1 µg de metilmercurio por kilogramo de peso corporal por día resulte en una concentración de mercurio en la sangre de unos 50 µg/l y, en el pelo, de unos 10 µg/g (US EPA, 1997; US ATSDR, 1999).

317. En un pequeño conjunto de 20 muestras apareadas de sangre materna y del cordón umbilical extraídas en el marco del *AMAP*, las concentraciones medias fueron de 24,2 y 53,8 µg/l, respectivamente. Este nivel está muy cerca de la dosis de referencia (BMD) del NRC (2000) de 58 µg/l, basada en la evaluación de los estudios de las Islas Faroe que hizo dicho Consejo (véase la sección 3.2.1).

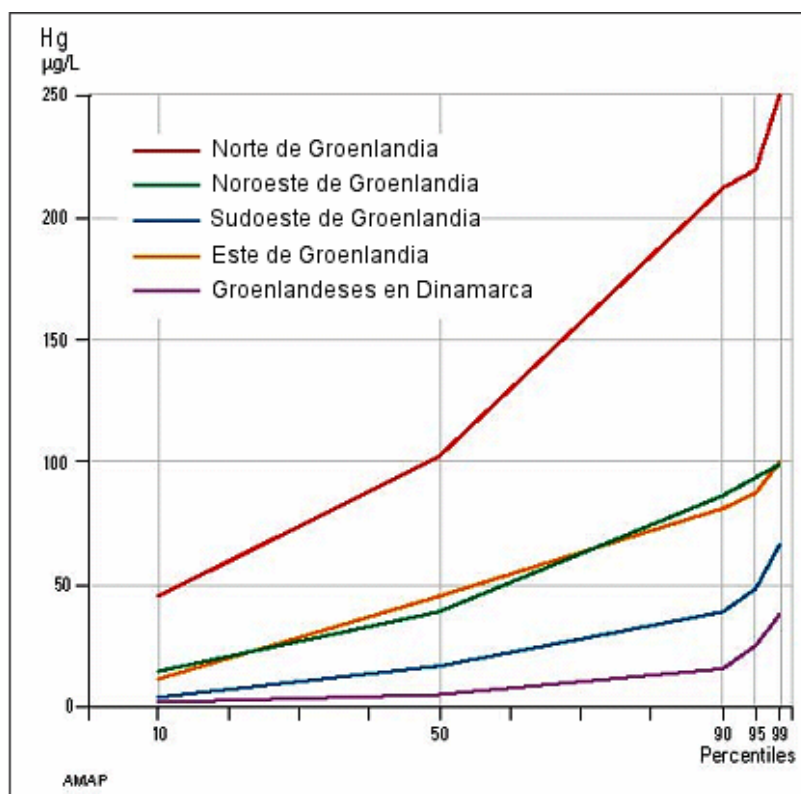


Figura 4.1 Distribución (en percentiles) de las concentraciones de mercurio en la sangre completa en cuatro regiones de Groenlandia y en groenlandeses que viven en Dinamarca (AMAP, 1998, basado en mediciones de 1988). Figura original presentada por gentileza de AMAP, Noruega.

318. Hasta 1997, no se habían registrado enfermedades o síntomas que pudieran relacionarse inequívocamente con exposiciones a contaminantes ambientales en Groenlandia (AMAP, 1998). Sin embargo, es preciso señalar que, en general, esa relación con los contaminantes ambientales no se puede establecer debido a su complejidad, excepto en casos de exposición sumamente aguda o subaguda. Además, en ese momento aún no se hacían en Groenlandia mediciones de efectos neurológicos y reproductivos más sutiles. Un estudio reciente sugiere que los déficits del comportamiento neurológico de niños inuits de Qaanaaq, Groenlandia, están relacionados con exposiciones, pero el estudio es demasiado pequeño para asegurar que las asociaciones tienen una significación estadística sólida (Weihe *et al.*, 2002).

319. La dieta tradicional de alimentos marinos de Groenlandia y zonas árticas de Canadá tiene cualidades nutricionales muy positivas y no se reemplaza fácilmente con otros alimentos. De acuerdo con las recomendaciones alimentarias del Gobierno de Canadá, los beneficios que la dieta nórdica tradicional de alimentos marinos ofrece para la salud sobrepasan los riesgos conocidos asociados con el consumo de esos alimentos. Sin embargo, es evidente que los riesgos asociados con esa dieta aumentan al elevarse los niveles de contaminación con metilmercurio. Además, es importante señalar que, más allá de los beneficios físicos asociados con la dieta tradicional, ésta desempeña una función importante en la vida social y cultural de las comunidades aborígenes del Norte.

320. Como se mencionó en párrafos anteriores, la investigación de la exposición al mercurio y sus efectos en las Islas Faroe en el límite de la región ártica ha sido amplia, y se han mostrado efectos neurológicos sutiles en niños expuestos antes de nacer a niveles bajos (véase la descripción en la sección 3.2.1).

321. El Consejo del Ártico y la considerable cobertura del mercurio en el programa de vigilancia y evaluación (AMAP), así como su actual plan de acción (ACAP) se describen en la sección 9.5.1.

#### 4.4.4 Ejemplos de Asia

##### China, Japón e Indonesia

322. Feng *et al.* (1998) investigaron las concentraciones de mercurio total y metilmercurio en el cabello de la cabeza de 243 hombres de tres zonas de la Prefectura de Tokushima (Japón), así como 64 hombres de la ciudad de Harbin (China) y 55 hombres de la ciudad de Medan (Indonesia), todos ellos de 40-49 años de edad y elegidos al azar. Encontraron las concentraciones más altas en sujetos que vivían en una zona de la costa declarada sin contaminación antropógena directa local. En ese lugar, las concentraciones de mercurio total variaban entre 1,7 y 24  $\mu\text{g/g}$  de cabello (una media de 6,2  $\mu\text{g/g}$  en 78 sujetos); por lo tanto, muy próximas y superiores al nivel de referencia para efectos adversos de unos 10  $\mu\text{g/g}$  de pelo materno calculado a partir de los estudios de las islas Faroe (véase la sección 3.2). La concentración media en las tres zonas investigadas en Japón era sólo ligeramente inferior: 4,6  $\mu\text{g/g}$  de cabello (243 sujetos).

323. En Japón, donde la dieta tiene un contenido relativamente alto de pescado y mariscos, el metilmercurio constituía una gran proporción del mercurio total medido y había una gran correlación entre las concentraciones de metilmercurio y el mercurio total, que indica que la dieta de alimentos marinos era un factor importante de la exposición al mercurio. Feng *et al.* (1998) citan al Departamento de Asuntos Generales de Japón en relación con los estudios alimentarios de 1996, que estiman el consumo nacional promedio de pescado y mariscos en 107 g/día por persona, una tasa de consumo que ocupa el tercer lugar entre las más grandes de los 23 países estudiados.

324. En las ciudades industriales de Harbin (China) y Medan (Indonesia), Feng *et al.* (1998) observaron concentraciones medias de mercurio total que eran menores (medias de 1,7  $\mu\text{g/g}$  y 3,1  $\mu\text{g/g}$  de cabello respectivamente). En ambos lugares, las concentraciones de metilmercurio eran más bajas – incluso en sujetos con altas concentraciones de mercurio total – y la correlación entre metilmercurio y mercurio total era baja, indicando que esas personas se habían expuesto sobre todo a mercurio elemental o a compuestos inorgánicos de mercurio procedentes de otras fuentes.

##### Papúa Nueva Guinea

325. Feng *et al.* (1998) citan a Suzuki (1991) con respecto a concentraciones de mercurio en el pelo observadas en residentes de tres aldeas de Papúa Nueva Guinea no afectadas por una contaminación antropógena directa de escala local. Las mayores concentraciones se observaron en la aldea costera de Dorogi, con medias de 4,1 y 4,4  $\mu\text{g/g}$  de pelo en personas del sexo masculino y femenino respectivamente, mientras que las concentraciones eran ligeramente inferiores en una aldea situada a orillas de un río a 6 kilómetros de la costa. Las concentraciones más bajas se observaron en una aldea situada a 25 kilómetros de la costa.

##### Tailandia

326. La presentación nacional de Tailandia (sub53gov) cita a Menasveta (1993), que señala en la población tailandesa una tasa nacional promedio de consumo de pescado de 61 g/día por persona (con un peso corporal promedio de 60 kg). No hay estudios sobre los riesgos de la exposición al metilmercurio en la población tailandesa.

##### Filipinas

327. La tasa media estimada de consumo de pescado en el país es 75 g/persona por día y el peso medio de una persona es de 60 kg. Asimismo, las exposiciones descritas en el estudio de la ONUDI (mencionadas en la sección 4.3 del presente informe) sobre la intoxicación con mercurio en la isla de Mindanao (en una zona de minas de oro) probablemente se deban en parte a exposiciones por la dieta, especialmente en la porción de la población no expuesta en el lugar de trabajo corriente abajo del Mt. Divalwal, donde están intoxicadas aproximadamente un tercio de las personas (55 de 163) (Global Mercury Assessment Working Group - Philippines delegation, 2002).

## República de Corea

328. De acuerdo con la presentación nacional de la República de Corea, el abastecimiento de pescado en ese país en los años 1996-1999 era de 74 a 94 g pescado/día por persona (presentación de la República de Corea, sub76govatt2).

### 4.4.5 Exposición por dieta de pescado en la cuenca del Amazonas y la Guayana Francesa (América del Sur)

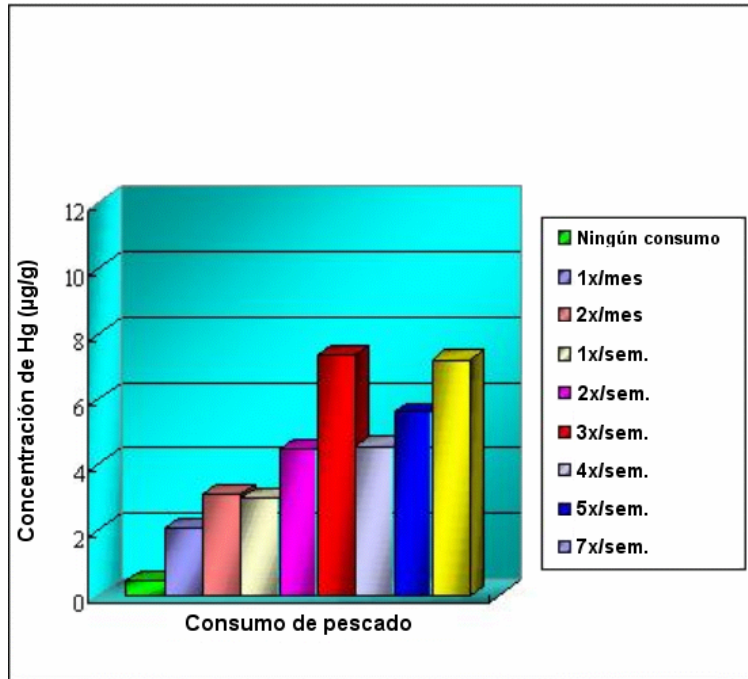
329. Varios estudios de la cuenca del Amazonas han señalado exposiciones elevadas al metilmercurio y al mercurio total en poblaciones que dependen de una alimentación a base de pescado en zonas de extracción de oro por medio de mercurio y sus inmediaciones.

330. Algunos estudios realizados en la cuenca del Amazonas han mostrado efectos adversos en seres humanos causados por la exposición al mercurio. Por ejemplo, en la comunidad de la cuenca del río Tapajós de Brasil se han señalado déficits cognitivos en niños de 7 años de edad expuestos in-utero a niveles de mercurio que correspondían a niveles de mercurio en el pelo de la madre inferiores a 10 µg/g de pelo (Malm *et al.*, 1999, según citado en la presentación sub66govatt2A de Brasil). En un número considerable de estudios, se han investigado exposiciones y efectos tóxicos del mercurio en diversas zonas afectadas por actividades de explotación aurífera en la cuenca del Amazonas. El Ministerio de Salud de Brasil informa que está analizando los datos disponibles sobre exposiciones en la cuenca del Amazonas, centrándose en el consumo de pescado y las concentraciones de mercurio en el pescado (sub66govatt2A). El Ministerio presentó también una extensa lista de referencias relativas a los efectos del mercurio en la cuenca del Amazonas (sub66govatt2B).

331. Akagi y Naganuma (2000) utilizaron mediciones separadas de metilmercurio y mercurio total para distinguir entre exposiciones debidas a una dieta de alimentos acuícolas y exposiciones directas al mercurio elemental en actividades de extracción de oro. En el 3,2% de los 559 habitantes estudiados, observaron concentraciones de metilmercurio que superaban el nivel de efectos adversos en adultos fijado en 50 µg/g de pelo, con un nivel individual máximo de 132 µg/g. Esos valores son sustancialmente superiores a la dosis de referencia de efectos adversos calculada en 10 µg/g de pelo materno a partir de los estudios de las Islas Faroe (véase la sección 3.2.1).

332. Vasconcellos *et al.* (1998) determinaron concentraciones de mercurio total en el cabello de la cabeza en 13 de las 17 tribus indígenas que habitan el Parque Xingu en la parte brasileña de la cuenca del Amazonas. En seis de los grupos investigados, también se midieron las concentraciones de metilmercurio en el pelo. Las medias geométricas de las concentraciones de mercurio total variaban de una tribu a otra en la gama de 3,2-21 µg/g de pelo, pero las medias de la mayoría de los grupos se encontraban entre 10 y 20 µg/g. En las tribus donde se midió también el metilmercurio, este compuesto comprendió casi todo el mercurio encontrado en las muestras de pelo. En el mismo estudio, se examinó también a tres grupos de habitantes del estado brasileño de Amapá. La figura 4.2 ilustra las concentraciones de mercurio total en el pelo en comparación con el número de comidas de pescado por semana – primero, en una región no directamente afectada por la extracción de oro (4.2a) y, segundo, en una región afectada por esas actividades (figure 4.2b).

a) Concentraciones de mercurio total en el pelo en comparación con la frecuencia del consumo de pescado – región de Serra do Navio, Estado de Amapá, Brasil (no directamente afectada por la extracción de oro)



a) Concentraciones de mercurio total en el pelo en comparación con la frecuencia del consumo de pescado – región de Vila Nova, Estado de Amapá, Brasil (directamente afectada por la extracción de oro)

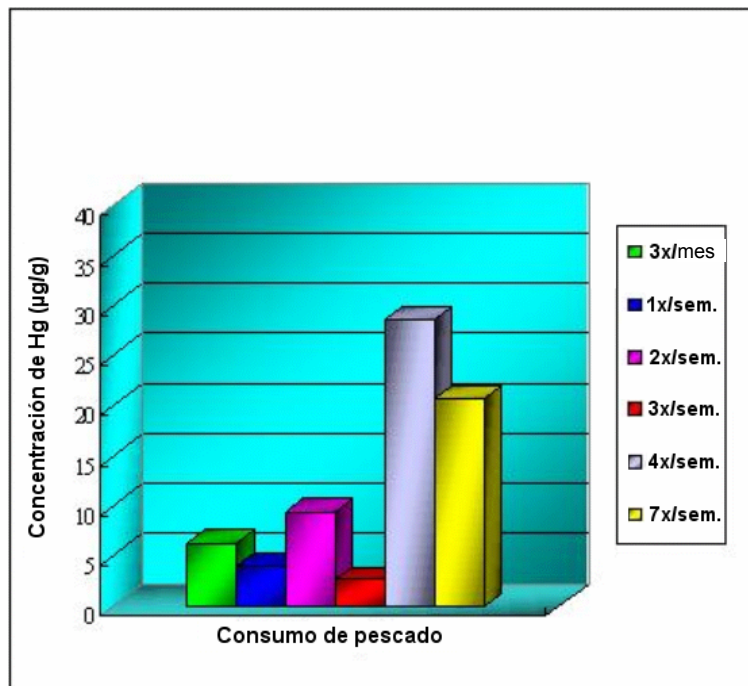


Figura 4.2 Concentraciones de mercurio total en el pelo en comparación con la frecuencia del consumo de pescado en dos regiones del Estado de Amapá, Brasil (de Vasconcellos et al., 1998, presentado por Brasil, sub68govatt1)

333. Algunos investigadores han examinado la cuestión de si la extracción de oro por sí sola puede explicar los niveles de contaminación por mercurio observados en la región del Amazonas. Otras fuentes de mercurio que se mencionaron son las aportaciones volcánicas y el aumento de la movilización debida a la deforestación y a otras causas de la erosión del suelo (según la presentación de Estados Unidos, comm-24-gov, 2002).

## Guayana Francesa

334. Un estudio realizado por Fréry *et al.* (1999) en la población wayana de la cuenca superior del río Maroni (Guayana Francesa), que se alimentan principalmente de pescado, confirmó que sufren de una exposición al mercurio debido al consumo de pescado de río contaminado por el mercurio proveniente de actividades de extracción de oro. De 242 muestras de pescado analizado, 14,5% tenía concentraciones de mercurio superiores a 0,5 mg/kg (con un máximo de 1,62 mg/kg). De acuerdo con las pautas de consumo de pescado de los wayanas, se determinó que los adultos ingieren entre 40 y 60 µg de mercurio total por día; los lactantes, aproximadamente 3 µg por día; los niños de entre 1 y 3 años de edad, 7 µg por día; entre 3 y 6 años de edad, aproximadamente 15 µg por día, y entre 10 y 15 años, entre 28 y 40 µg por día. Más de la mitad de la población tenía niveles de mercurio en el pelo que sobrepasaban el nivel recomendado por la OMS de 10 µg de mercurio total/g, con un promedio de 11,4 µg/g. (Los niveles de mercurio de la población de Guayana son de aproximadamente 3 µg/g y 1,7 µg/g en personas de zonas urbanas.)

## 4.5 Datos presentados sobre concentraciones de mercurio en peces

335. La información sobre concentraciones de mercurio en el pescado de diferentes partes del mundo se ha utilizado en este informe como indicador para ilustrar la presencia de mercurio en el medio ambiente mundial. Un número de países y organizaciones internacionales han presentado datos sobre concentraciones de mercurio en el pescado. Además, la literatura informa de numerosas investigaciones sobre los niveles de ese metal en el pescado. En la tabla 4.5 se resumen los datos presentados para ilustrar las concentraciones de mercurio en el pescado en diversas partes del mundo. Los datos disponibles muestran que el mercurio está presente en todo el globo en concentraciones que pueden afectar a los seres humanos y a la vida silvestre.

336. Para ilustrar el modo en que las concentraciones observadas se relacionan con niveles de posibles efectos adversos, las concentraciones iguales o superiores a 0,3 mg/kg de peso húmedo – el criterio de la *US EPA* de residuos en los tejidos (con una ración de 17,5 gramos de pescado por día) y el valor de las directrices de Japón (véase la sección 4.2.1) – se han marcado en negrita en la tabla. Esos valores representan las evaluaciones integrales de riesgos más recientes sobre la exposición al mercurio por dietas a base de pescado. Como se menciona en la tabla 4.1, los niveles indicados en las directrices del Codex Alimentarius de la FAO/OMS para el pescado son de 0,5 mg/kg de peso húmedo en el caso de peces no depredadores y 1 mg/kg de peso húmedo si se trata de depredadores (como el tiburón, pez espada, atún, lucio y otros).

*Tabla 4.5 Ejemplos de concentraciones de mercurio en pescado/mariscos de diferentes regiones del mundo, según las presentaciones hechas a la Evaluación Mundial sobre el Mercurio La metodología de recogida, tratamiento y análisis de muestras puede variar y es posible que esa variación haya incidido en los resultados. Para más detalles, consúltense las referencias.*

Lugar geográfico	Especies de peces, crustáceos y moluscos	Concentración (-nivel) *3 ph: peso húmedo *4 ps: peso seco *5	Año de muestreo	Nivel trófico *1	Nivel de contaminación en el hábitat *2	Referencias
Región ártica	Peces marinos	0,01 - 0,1 mg/kg de ph Máximos: 0,1 - <b>0,9</b> mg/kg de ph	Varios			AMAP, 1998
	Moluscos marinos	<0,009 - 0,033 mg/kg de ph	Varios			
Australia (suroeste de Tasmania)	Anguila australiana (lago Gordon)	<b>0,86 – 2,15</b> mg/kg (media <b>1,40</b> mg/kg, 9 muestras)	1994			Bowles, 1998, en presentación nacional de Australia, sub63gov
	Trucha común (lago Pedder)	0,06 – <b>0,3</b> mg/kg (media 0,16 mg/kg, 20 muestras)	1993			
	Trucha común (lago Gordon)	0,1 – <b>1,4</b> mg/kg (media <b>0,35</b> mg/kg, 20 muestras)	1994			
	Trucha común (río River)	<b>0,3 – 2,35</b> mg/kg (media 1,09 mg/kg, 25 muestras)	1993			
	Perca de aletas rojas (lago Gordon)	0,12 – <b>1,3</b> mg/kg (media <b>0,52</b> mg/kg, 20 muestras)	1993			



Lugar geográfico	Especies de peces, crustáceos y moluscos	Concentración (-nivel) *3 ph: peso húmedo *4 ps: peso seco *5	Año de muestreo	Nivel trófico *1	Nivel de contaminación en el hábitat *2	Referencias
Mar Báltico	Pescado entero Peces marinos  Mejillón Mejillón	0,010-0,050 mg/kg de ph 0,016 - 0,091 mg/kg de ph (músculo, todas las especies estudiadas). 0,005 - 0,010 mg/kg de ph Excede ligeramente 0,01 mg/kg de ph	1994-1998	No	De fondo Gen  De fondo Gen	ICES, 1997, en Helcom, 2001
Brasil	46 especies de seis niveles tróficos: Herbívoros/Detritivoros Planctófagos/Omnívoros I Omnívoros II/Ictiófagos	0,10/0,15 mg/kg de ph 0,36/0,21 mg/kg de ph 0,55/0,64 mg/kg de ph	1991-1993			Boischio y Henshel, 2000
Brasil (Amazonas)	Peces de río de zonas prístinas Peces depredadores procedentes de zonas contaminadas (zona de la cuenca del Amazonas de mayor explotación minera)	Inferior a 0,2 mg de Hg por kg de ph Puede alcanzar niveles de 2 – 6 mg/kg o más. Valores promedio superiores a 0,5 mg/kg	Decenio de 1990	Depr	De fondo Con	Malm, según figura en el Foro de NIMD, 2001, en la presentación nacional de Japón (sub6govatt1)
Costa de Marfil	Especies de atún, “atún Albacore” ( <i>Thunnus albacares</i> ) Grandes ejemplares (80-91 kg): Lenguado, “sole” Arenque, “hareng”	<b>0,30 - 0,36</b> mg/kg de ph  <b>0,8</b> mg/kg de ph (músculo)  0,064 - 0,090 mg/kg de ph 0,037 - 0,047 mg/kg de ph	1991	Depr  No depr No depr	Gen  Gen Gen	Presentación nacional de Costa de Marfil (sub72gov)
Chipre	Pez espada Espáridos Salmonete Dentón común ( <i>Dentex dentex</i> )	0,20 - <b>2,00</b> mg/kg de ph (media <b>0,54</b> de 21 muestras) 0,00 - <b>2,00</b> mg/kg de ph (media <b>0,38</b> de 42 muestras) 0,00 - <b>0,70</b> mg/kg de ph (media 0,11 de 15 muestras) 0,00 - <b>2,00</b> mg/kg de ph (media 0,51 de 20 muestras)	1993-1997	Depr  No depr	Gen Gen Gen Gen	Presentación nacional de Chipre (unas 15 especies señaladas en total )
Fiji	Moluscos ( <i>Crassostrea mordax</i> ) Moluscos ( <i>Crassostrea mordax</i> ) Moluscos ( <i>Grafiarium tumidum</i> ) Moluscos ( <i>Anadara spp.</i> ) Atún en conserva	<0,001-0,061 mg/kg de ph  <b>0,55-0,95</b> mg/kg de ps  0,05-0,20 mg/kg de ps  0,037-0,099 mg/kg de ps 0,01-0,97 mg/kg de ph	1987/88  1988  1985/86  1992/93 1990/92		De fondo Con De fondo De fondo ?	Naidu <i>et al.</i> , 1991  Naidu and Morrison, 1994 Gangaiya <i>et al.</i> , 1988  Morrison <i>et al.</i> , 2001 IAS, 1992
Finlandia	Lucio en aguas dulces y aguas litorales salobres	<b>1,52</b> mg de Hg por kg de ph (concentración promedio) <b>0,60</b> mg de Hg por kg de ph (concentración promedio)	Decenio de 1960 1990			Presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov
Francia	Mejillones (369 muestras de 96 estaciones de muestreo a lo largo de la costa de Francia)	0,008 – 0,238 mg metilHg/kg de peso seco (media 0,064 mg/kg de peso seco)	1996			Claisse <i>et al.</i> , 2001, en la presentación nacional de Francia, (sub49gov)
	Peces, Océano Atlántico: Congrio Merlán Pintarroja	1,2 +/- 0,3 mg/kg de ps 0,4 +/- 0,1 mg/kg de ps 2,0 +/- 0,6 mg/kg de ps				Cossa, 1994, en la presentación nacional de Francia (sub49gov).
	Peces, mar Mediterráneo: Congrio Merlán Pintarroja	4,5 +/- 2,8 mg/kg de ps 3,2 +/- 2,1 mg/kg de ps 9,4 +/- 5,2 mg/kg de ps				

Lugar geográfico	Especies de peces, crustáceos y moluscos	Concentración (-nivel) *3 ph: peso húmedo *4 ps: peso seco *5	Año de muestreo	Nivel trófico *1	Nivel de contaminación en el hábitat *2	Referencias
	Peces capturados en los mares Báltico y del Norte, Canal de la Mancha, Océano Atlántico) Pez espada ( <i>Xiphias gladius</i> ) Tiburón ( <i>Lamna sp.</i> ) Atún rojo ( <i>Thunnus thynnus</i> )	Media <b>0,780</b> mg/kg de ph (41 muestras) Media <b>0,692</b> mg/kg de ph (497 muestras) Media <b>0,470</b> mg/kg de ph (344 muestras)	1971 – 1980			Thibaud, 1992, en la presentación nacional de Francia (sub49gov)
Ghana	Especies de río: la mayor parte “tilapia” ( <i>Tilapia guineensis</i> ) y “pez-gato” ( <i>Heterobranchus spp.</i> )	General: <b>0,55 - 1,59</b> mg/kg de ph Tilapia, media: <b>1,17</b> mg/kg de ph (de 8 ejemplares)	2000		Con	Presentación nacional de Ghana e informe de ONUDI (sub2igoatt6part2)
Guam	Peces	0,009-0,045 mg/kg de ph			De fondo	Denton <i>et al.</i> , 2001
Hong Kong	Carpa de cieno ( <i>Cirrhinus molitorella</i> ) Lobina de agua dulce ( <i>Micropterus sp.</i> ) Nemíptero ( <i>Nemipterus virgatus</i> ) <i>Trichiurus haumela</i>	0,025 mg/kg de ph 0,195 mg/kg de ph 0,219 mg/kg de ph 0,146 mg/kg de ph	1995			Dickman y Leung, 1998
India	18 grupos de peces e invertebrados marinos de la bahía de Bengala, el mar de Omán y el océano Índico	0,005-0,065 mg de Hg total/kg (valores medios)			De fondo	Ramamurthy, 1979, en comentarios de India (comm.-13-gov)
	<i>Bombay, costa occidental</i> Peces Bivalvos Gastrópodos Cangrejos <i>Madrás, costa sudoriental</i> Peces  Peces <i>Isla Sagar, costa oriental</i> Bivalvos	0,03- <b>0,82</b> mg de Hg total/kg de ps 0,13- <b>10,82</b> mg de Hg total/kg de ps <b>1,05-3,60</b> mg de Hg total/kg de ps <b>1,42-4,94</b> mg de Hg total/kg de ps  Inferior al límite de detección (100 ng/g) 0,08-0,14 mg de Hg total/kg de ph  0,06- <b>2,24</b> mg de Hg total/kg de ps				Bhattacharya y Sarkar, 1996
Italia	Atún ( <i>Thunnus thynnus thynnus</i> )	0-4 mg de Hg total/kg de ph		Depr	gen	Renzone <i>et al.</i> , 1998
Japón	Gallineta, en la bahía de Minamata Gallineta, fuera de la bahía de Minamata	<b>0,655</b> mg/kg ± 0,162 <b>0,511</b> mg/kg ± 0,241 <b>0,603</b> mg/kg ± 0,216 <b>0,531</b> mg/kg ± 0,194 <b>0,431</b> mg/kg ± 0,163	1978 1993 1983 1990 1999			Yasuda <i>et al.</i> , en presentación nacional de Japón (sub6gov)
Kiribati	Moluscos ( <i>Anadara spp.</i> )	<0,0001-0,006 mg/kg de ph	1987		De fondo	Naidu <i>et al.</i> , 1991
Corea, República de	Especies de peces de agua dulce no especificadas, procedentes de 12 lugares de las cuencas de cada uno de los ríos Keum y Nakdong	Media 0,126 mg de Hg total /kg (10 especies, 90 muestras) Media 0,196 mg de Hg total/kg (6 especies, 124 muestras).	1989 1985			Presentación nacional de Corea (sub76govatt1)
	7 especies de peces de agua dulce (carpín givel, lisa, pez-gato, cabeza de serpiente, anguila, pez mandarin) de la zona de Kangkyung en el río Keum	Media <b>0,351</b> mg/kg (músculo, 7 especies, 57 muestras)	1980			Presentación nacional de Corea (sub76govatt1)

Lugar geográfico	Especies de peces, crustáceos y moluscos	Concentración (-nivel) *3 ph: peso húmedo *4 ps: peso seco *5	Año de muestreo	Nivel trófico *1	Nivel de contaminación en el hábitat *2	Referencias
	Especies de peces de agua dulce de 24 cursos de agua de la zona sudoriental de Corea ( <i>Carassius auratus</i> , <i>Zacco temmincki</i> , <i>Plecoglossus altivelis</i> , <i>Moroco lagowskii</i> , <i>Chaenogobius urotaenia urotaenia</i> etc.)	0,02 – 0,12 mg/kg (media 0,07 mg/kg)	1979			Presentación nacional de Corea (sub76govatt1)
Kuwait	Camarones, diversas especies	No detectado – 1,57 mg/kg (promedio inferior a 0,4 mg/kg)	Decenio de 1980			Khordagui y Dhari, 1991, en la presentación de UNESCWA (sub1igo)
Mauricio	Tiburón (no especificado)  Marlín  Atún  Pez espada	0,13 - <b>0,60</b> mg de Hg/kg (52 muestras de tiburón fresco)  <b>1,20 – 3,00</b> mg de Hg/kg (en 8 muestras), 0,10- <b>0,90</b> mg de Hg/kg (en otras 18 muestras)  0,10 – <b>0,70</b> mg de Hg/kg (16 muestras de atún fresco)  0,22 – <b>0,65</b> mg de Hg/kg (en 17 muestras de pez espada)	?	Depr	Gen	Presentación nacional de Mauricio (sub56gov)
Atlántico Nordeste (aguas de la OSPAR)	Peces marinos  Mejillones marinos	0,01-0,2 mg/kg de ph (general) Hasta <b>0,9</b> mg/kg de ph (zonas máximas)  0,01-0,1 mg/kg de ph (general) Up to <b>0,9</b> mg/kg de ph (zonas máximas)	1993-1996		Gen  No depr  Gen	OSPAR, 2000b y 2000, en presentación del Consejo Nórdico de Ministros Ministers (sub84gov)
Noruega	Lucio Perca	0,1 – <b>2,5</b> mg/kg 0,1 – <b>2,5</b> mg/kg	1988-1994			Presentación nacional de Noruega (sub70gov)
Filipinas	Peces de sistemas fluviales  Almeja de Taiwan  Tilapia	0,00107 – <b>0,439</b> mg de Hg total/kg 0,00071 – <b>0,377</b> mg de metilHg/kg  0,233 - <b>1,208</b> mg de Hg total/kg  0,109- <b>0,494</b> mg de Hg total/kg	1996-1999  1997-1999  1996-1999		Con (zona de minería artesanal de oro)  No depr	Presentación nacional de Filipinas (sub1gov)
Seychelles	Diversas especies oceánicas	Media de 0,2- <b>0,3</b> mg/kg				Cernichiari <i>et al.</i> , 1995, citado por Pirrone <i>et al.</i> , 2001
República Eslovaca	Algunas especies de ríos y lagos: Barbo común ( <i>Barbus barbus</i> ) Perca europea ( <i>Perca fluviatilis</i> ) Timalo ( <i>Thymallus thymallus</i> ) Trucha arco iris ( <i>Salmo gairdnerii</i> ) Anguila ( <i>Anguilla anguilla</i> )	0,053- <b>7,329</b> mg/kg de ph (media 0,728 mg/kg, 29 muestras)  0,009- <b>1,964</b> mg/kg de ph (media 0,212 mg/kg, 34 muestras)  0,032-0,110 mg/kg de ph (media 0,064 mg/kg, 6 muestras)  0,001- <b>0,970</b> mg/kg de ph (media 0,038 mg/kg, 56 muestras)  0,007-0,220 mg/kg de ph (media 0,093 mg/kg, 8 muestras)	1995-2000  1995-2000  1995-1997  1995-2001  1995-1996			Comentarios de la República Eslovaca (Comm-14-gov)
Islas Salomón	Carne de pescado (spp. desconocidas) Hígado de pescado (spp. desconocidas)	0,0002-0,0014 mg/kg de ph  0,089-0,120 mg/kg de ph			De fondo	Kannan <i>et al.</i> , 1995
Suecia	Lucio de 1 kg (aguas interiores)	0,1- <b>2,0</b> mg/kg de ph				Comentarios de Suecia (Comm-12-gov)

Lugar geográfico	Especies de peces, crustáceos y moluscos	Concentración (-nivel) *3 ph: peso húmedo *4 ps: peso seco *5	Año de muestreo	Nivel trófico *1	Nivel de contaminación en el hábitat *2	Referencias
Taiwan	Marlín azul ( <i>Makaira mazara</i> ) Atún ( <i>Thunnus albacores</i> ) Camarón ( <i>Penaeus mondon</i> ) Ostras ( <i>Crassostrea gigas</i> )	<b>10,3</b> mg/kg de ps <b>9,75</b> mg/kg de ps <b>2,19</b> mg/kg de ps 0,180 mg/kg de ps	1995-1996			Han <i>et al.</i> , 1998
Tailandia	Especies de peces, camarones y moluscos no especificadas en las desembocaduras de 15 ríos diferentes (capturadas con “aparejos artesanales”) Pargo, lobina, nemíptero, pez lagarto, cobia	0,041- <b>0,32</b> mg/kg (ps) 0,01- <b>0,6</b> mg/kg (ps) 0,049 – <b>0,694</b> mg/kg (ph)	1998 1999 1997		Gen	Presentación nacional de Tailandia (sub70gov)  Windom y Cranmer, 1998
Tonga	Moluscos ( <i>Grafiarium tumidum</i> )	0,022-0,191 mg/kg ph	1987		De fondo	Naidu <i>et al.</i> , 1991
Reino Unido (mar de Irlanda)	Ejemplares de platija europea ( <i>Platichthys flesus</i> ) capturados cerca de Irlanda, Gales, Isla de Man Ejemplares de platija capturados cerca de la bahía de Liverpool Solla ( <i>Pleuronectes platessa</i> ) Limanda ( <i>Limanda limanda</i> ) Gato pintarroja ( <i>Scyliorhinus caniculus</i> )	0,008 – <b>0,331</b> mg/kg de ph  Hasta <b>1,96</b> mg/kg de ph  Menos de <b>0,5</b> mg/kg de ph  Menos de 1,1 mg/kg de ph  Menos de <b>2,5</b> mg/kg de ph	?			Leah <i>et al.</i> , 1992 en la presentación nacional del Reino Unido (sub39govatt1)
Reino Unido	Anguila ( <i>Anguilla anguilla</i> ) Ejemplares capturados en diversos lugares de East Anglia	0,001 – 0,082 µg/kg (media 20) 0,014 – 0,788 µg/kg (media 170) 0,022—0,168 µg/kg (media 82)	?			Downs <i>et al.</i> , 1999 en la presentación nacional del Reino Unido (sub39govatt1)
Reino Unido	Estudio de 336 pescados frescos/congelados/procesados y mariscos - Fletán Marlín Tiburón Pez espada Atún	0,038- <b>0,617</b> mg/kg (media 0,290, 2 muestras) <b>0,409-2,204</b> mg/kg (media <b>1,091</b> , 4 muestras) <b>1,006-2,200</b> mg/kg (media <b>1,521</b> , 5 muestras) <b>0,153-2,706</b> mg/kg (media <b>1,355</b> , 17 muestras) <b>0,141-1,500</b> mg/kg (media <b>0,401</b> , 34 muestras)				Estudio de la Universidad Bristol – Mercurio en pescado y mariscos importados, y pescado de acuicultura del Reino Unido y sus productos; inédito, publicado en <a href="http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/Mercury_in_Fish_table.pdf">www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/Mercury_in_Fish_table.pdf</a>
Estados Unidos de América	Peces que se alimentan en el fondo – Carpa Bagre de canal Matalote Depredadores – Perca americana de boca pequeña Trucha de mar Perca americana de boca grande Lucioperca americana Lucio	0,061 –0,250 mg/kg 0,010 - <b>0,890</b> mg/kg 0,042 - <b>0,456</b> mg/kg  0,094 - <b>0,766</b> mg/kg 0,037 - <b>0,418</b> mg/kg 0,101 - <b>1,369</b> mg/kg  0,040 - <b>1,383</b> mg/kg 0,084 - <b>0,531</b> mg/kg	1990-1995	No depr        Depr		US EPA, 1997
Vanuatu	Moluscos ( <i>Anadara spp.</i> ) Moluscos ( <i>Crassostrea mordax</i> )	0,02-0,04 mg/kg de ph 0,01-0,04 mg/kg de ph	1987 1987		De fondo	Naidu <i>et al.</i> , 1991

Notas:

- 1 Indicación del nivel trófico: **Depr** - Depredador/nivel superior; **No depr** – No depredador/nivel inferior
- 2 Indicación del nivel de contaminación en el hábitat: **Gen** - general/no especificado; **De fondo** – nivel de fondo; **Con** – contaminado.
- 3 Salvo indicación contraria, se supone que los resultados se refieren al contenido medido de mercurio total (y no de metilmercurio).
- 4 Se puede suponer que la concentración de mercurio corresponda al peso húmedo (ph), salvo indicación contraria.
- 5 Los resultados basados en el peso seco serán, por definición, más altos que los del peso húmedo (debido al agua que contienen el pescado y los mariscos) y, por lo tanto, no se pueden comparar directamente con los valores de los resultados y las directrices que se basan en el peso húmedo.

## 5 Efectos del mercurio en el medio ambiente

### 5.1 Panorama general

#### Acumulación de mercurio en las redes alimentarias

337. Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimentaria. Hasta cierto punto, todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilmercurio se absorbe y acumula más que otras formas. El mercurio inorgánico también puede ser absorbido pero por lo general en menores cantidades y con menor eficiencia que el metilmercurio (US EPA, 1997). La biomagnificación del mercurio es lo que más incide en los efectos para animales y seres humanos. Al parecer, los peces adhieren con fuerza el metilmercurio; casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores es metilmercurio. La mayor parte del metilmercurio en tejidos de peces forma enlaces covalentes con grupos sulfhidrido proteínico, con lo que la vida media de eliminación resulta larga (aproximadamente de dos años) (Wiener y Spry, 1996). Como consecuencia, se genera un enriquecimiento selectivo de metilmercurio (en comparación con el mercurio inorgánico) cuando se pasa de un nivel trófico al siguiente nivel trófico superior.

#### Bioacumulación y biomagnificación

El término **bioacumulación** significa la acumulación neta en un organismo de metales provenientes de fuentes bióticas (otros organismos) o abióticas (suelo, aire y agua).

El término **biomagnificación** significa la acumulación progresiva de ciertos metales pesados (y otras sustancias persistentes) de uno a otro nivel trófico sucesivo. Está relacionada con el coeficiente de concentración en los tejidos de un organismo depredador en comparación con el de su presa (AMAP, 1998).

338. En comparación con otros compuestos de mercurio, la eliminación del metilmercurio en peces es muy lenta (US EPA). En concentraciones ambientales constantes, las concentraciones de mercurio en peces de determinada especie tienden a aumentar con la edad, como consecuencia de la lenta eliminación del metilmercurio y una mayor ingesta debido a los desplazamientos en los niveles tróficos que suele haber a medida que el pez va creciendo (come cada vez más peces, y las presas son más grandes). Por eso, es común que los peces más viejos tengan en sus tejidos concentraciones de mercurio más altas que los peces más jóvenes de la misma especie.

339. Las concentraciones más bajas de mercurio se encuentran en peces pequeños no depredadores y pueden aumentar varias veces conforme se asciende en la cadena alimentaria. Además de la concentración en alimentos, existen otros factores que inciden en la bioacumulación del mercurio. Son de capital importancia los índices de metilación y desmetilación (véase la sección 2.3) por efecto de las bacterias metiladoras de mercurio (por ejemplo, reductores de sulfato). Cuando todos estos factores se combinan, el índice de metilación neta puede influir mucho en la cantidad de metilmercurio que se produce y que puede ser acumulado y retenido por organismos acuáticos. Como se describe en la sección 2.3, varios parámetros del entorno acuático inciden en la metilación del mercurio y, por ende, en su biomagnificación. Aunque en general se sabe mucho sobre la bioacumulación y biomagnificación del mercurio, se trata de un proceso muy complejo en el que participan ciclos biogeoquímicos e interacciones ecológicas complicadas. Por consiguiente, aunque pueda observarse la acumulación/ biomagnificación, no es fácil predecir el grado de biomagnificación del mercurio en peces de diferentes sitios.

340. En los niveles superiores de la cadena alimentaria acuática se encuentran las especies piscívoras, como los seres humanos, aves marinas, focas y nutrias. Las especies silvestres más grandes (como águilas y focas) se alimentan de peces que también son depredadores, como la trucha y salmón,

mientras que las especies piscívoras más pequeñas (como el martín pescador) tienden a alimentarse de peces forraje más pequeños. En Wisconsin, en un estudio sobre animales de pelaje, las especies con el nivel de mercurio más alto en tejidos resultaron ser la nutria y el visón, depredadores mamíferos del nivel superior de la cadena alimentaria acuática. Entre las aves depredadoras del nivel superior de la cadena alimentaria acuática están las aves de rapiña como el águila pescadora y el águila cabeza blanca (US EPA, 1997). Así, pues, el mercurio se transfiere y acumula de uno a otro nivel de la cadena alimentaria (US EPA, 1997). Las cadenas alimentarias acuáticas suelen tener más niveles que las terrestres, en las que los depredadores de especies silvestres rara vez se alimentan unos de otros y, por lo tanto, la biomagnificación acuática generalmente alcanza valores mayores.

### **Compuestos de mercurio tóxicos para la vida silvestre**

341. El metilmercurio es una toxina que ataca el sistema nervioso central, y los riñones son los órganos más vulnerables ante el mercurio inorgánico. En el conocido caso de Minamata, Japón, ya se observaban efectos neurológicos graves en animales antes de haber reconocido el envenenamiento de personas: las aves experimentaban muchas dificultades para volar, y presentaban otras conductas muy anormales. También se atribuyen al mercurio efectos significativos en la reproducción, y el metilmercurio representa un riesgo especial para los fetos en desarrollo pues penetra con facilidad la barrera placentaria y puede dañar el sistema nervioso en desarrollo.

342. En las aves, los efectos perjudiciales del mercurio en la reproducción pueden darse incluso en concentraciones que no pasan de 0,05 a 2,0 mg/kg (peso húmedo) en huevos. Los huevos de ciertas especies canadienses ya se encuentran dentro de este registro, y hay concentraciones en los huevos de otras especies canadienses que siguen aumentando y se acercan a estos niveles.

343. Durante los últimos 25 años se han duplicado e incluso cuadruplicado los niveles de mercurio en focas anilladas y belugas de algunas áreas del Ártico canadiense y Groenlandia. En aguas más cálidas los mamíferos marinos depredadores también pueden estar en riesgo. Un estudio de la población de delfines jorobados en Hong Kong determinó que el mercurio es un peligro particular para la salud, más que otros metales pesados.

### **Ecosistemas vulnerables**

344. Hay estudios recientes que sugieren que el mercurio ocasiona una reducción de la actividad microbiológica vital para la cadena alimentaria terrestre en suelos de grandes partes de Europa –y posiblemente de muchos otros lugares del mundo con características edafológicas similares. A fin de prevenir los efectos ecológicos del mercurio en suelos orgánicos se han establecido límites críticos preliminares de 0,07-0,3 mg/kg de contenido de mercurio total en el suelo (Pirrone *et al.*, 2001).

345. En el ámbito mundial, la región del Ártico ha atraído recientemente la atención debido al transporte a largas distancias del mercurio. Sin embargo, los efectos del mercurio no son en absoluto exclusivos de la región ártica. Las mismas características en la cadena alimentaria –así como una dependencia similar de una fuente de alimentación contaminada por mercurio– se observan en ciertos ecosistemas y comunidades humanas de muchas partes del mundo, sobre todo en lugares en los que el pescado es fuente principal de alimentación.

346. El aumento en los niveles de agua asociados con el cambio climático mundial también podría tener efectos en la metilación del mercurio y su acumulación en peces. Por ejemplo, existen indicios de una mayor formación de metilmercurio en lagos pequeños y cálidos y en muchas áreas recién inundadas.

347. El presente capítulo no tiene el objeto de ofrecer una síntesis exhaustiva de la literatura sobre la exposición al mercurio, y de sus efectos y riesgos para los receptores ecológicos. Es más bien un resumen de una selección de análisis del tema, así como de datos y comentarios recibidos durante el proceso de redacción.

348. Diversas partes del texto descriptivo de este capítulo se basaron en Pirrone *et al.* (2001), US EPA (1997), la presentación del Gobierno de Canadá de información para el PNUMA (sub42gov) y la presentación del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov).

## 5.2 Niveles de efectos ecotoxicológicos

349. En los últimos años, se han publicado muchos artículos, informes y estudios científicos acerca de la toxicidad y ecotoxicidad del mercurio y del metilmercurio. Para obtener una información más completa, se recomienda consultar las Monografías sobre el Mercurio (*Monographs on Mercury*, WHO/IPCS, 1991), Metilmercurio (*Methylmercury*, WHO/IPCS, 1990) y Mercurio – Aspectos Ambientales (*Mercury – Environmental Aspects*, WHO/IPCS, 1989) publicadas por el Programa Internacional sobre Seguridad Química (*International Programme on Chemical Safety, IPCS*) bajo los auspicios de la Organización Mundial de la Salud (*World Health Organization, WHO*). En este texto se adopta una perspectiva más amplia, en combinación con algunos de los datos obtenidos en décadas recientes, compilados en diversos estudios (US EPA, 1997; Pirrone *et al.*, 2001); la presentación canadiense al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) (sub42govatt1) y otros documentos).

350. Esta sección se dedicará a tratar principalmente el tema de las concentraciones de mercurio y las dosis que ocasionan efectos en organismos individuales. Los datos son en su mayoría resultados de laboratorio o de estudios epidemiológicos. Tal y como se señala en el informe de la US EPA (1997), a pesar del número de investigaciones de campo realizadas sobre los efectos potenciales del mercurio en la fauna silvestre terrestre y acuática de vida libre, no se comprenden bien los efectos del mercurio en niveles superiores de organización biológica (por ejemplo, ecosistema, comunidades, población).

351. La exposición al mercurio puede causar efectos neurológicos graves, hecho que se pudo comprobar en Minamata, Japón, desde aproximadamente 1950-1952 (antes de que se reconociera el envenenamiento de personas). En la citada localidad, las aves experimentaban dificultades para volar y mostraban otras conductas muy anormales (US EPA, 1997). Se observaron signos de enfermedades neurológicas, incluso convulsiones, ataques, movimientos altamente erráticos (correr desenfadado, saltos repentinos, choques contra objetos) en animales domésticos, principalmente gatos cuya dieta contenía mucho pescado.

### 5.2.1 Mamíferos

352. La mayor parte de los datos sobre mamíferos fueron generados en experimentos con ratones, ratas y otros animales de laboratorio típicos para la evaluación de los riesgos para los seres humanos. Esos resultados no se evalúan en este texto, que se concentra sobre todo en especies silvestres.

353. Se han hecho estudios de laboratorio en condiciones controladas a fin de evaluar los efectos del metilmercurio (a partir de una dieta de pescado) en el visón y la nutria (y en varias especies aviarias). Según la US EPA (1997) pueden ocurrir efectos cuando se ingiere metilmercurio a una dosis de 0,18 mg/kg de peso corporal al día o 1,1 mg/kg de alimentos (LOAEL establecido por la US-EPA para el visón, tomado de Wobeser *et al.*, 1976). Se pueden producir muertes con 0,1-0,5 mg/kg de peso corporal por día o 1,0-5,0 mg/kg de alimentos. Los animales más pequeños (visones, monos) son generalmente más susceptibles al envenenamiento por mercurio que los animales más grandes (por ejemplo el ciervo mulo o la foca de Groenlandia).

354. La US EPA ha elaborado criterios de calidad del agua para protección de la fauna (wildlife criteria) a fin de evaluar la exposición al metilmercurio de dos especies mamíferas en Estados Unidos (el visón y la nutria) cuyas dietas son acuáticas (US EPA, 1997). Estos criterios se basan en un nivel de metilmercurio en el agua (de donde estos animales obtienen su alimento) que se cree no hace daño a los animales. Se calcularon a partir de las concentraciones efectivas (LOEL - nivel mínimo con efecto adverso observado) y NOEL - nivel sin efecto adverso observado) y factores de bioacumulación.



355. Los criterios para el metilmercurio calculados para los mamíferos fueron de 57 picogramos por litro (pg/l) para el visón y 42 pg/l para la nutria de río. La *US EPA* observó que los criterios reflejan niveles que sobrepasan en algo más que dos órdenes de magnitud los que fundamentan la dosis de referencia de la *US EPA* para los seres humanos y que los criterios de protección de la fauna no cubren efectos más sutiles, como los que se han observado en seres humanos recientemente (*US EPA*, 1997).

356. Cabe mencionar que sólo en raras ocasiones se mide la concentración de metilmercurio en el agua, y que las concentraciones de los criterios de protección de la fauna son extraordinariamente difíciles de medir. Recientemente se señalaron valores de concentración de mercurio total en aguas de superficie no contaminadas (solamente carga difusa) entre 0,1 y 5 ng/l. Varios estudios han mostrado que el metilmercurio en general representa de 1 a 10% del mercurio total en el agua. Suponiendo una concentración de mercurio de 1 ng/l en el agua, el metilmercurio oscilará entre 10 y 100 pg/l y, por lo tanto, así no será raro sobrepasar los criterios de protección de la fauna.

357. En el informe del Programa de Vigilancia y Evaluación en el Ártico (*AMAP*, 1998) se señalaron efectos perjudiciales y letales en los mamíferos terrestres y marinos cuando las concentraciones de mercurio sobrepasan niveles entre 25 y 60 mg/kg de peso húmedo en riñones e hígado. El metilmercurio es una toxina que ataca el sistema nervioso central y los riñones, que son los órganos más vulnerables a los efectos nocivos de los compuestos inorgánicos de mercurio. También se le atribuyen al mercurio efectos significativos en la reproducción. Sin embargo, el metilmercurio en particular representa un riesgo para el feto en desarrollo pues puede fácilmente penetrar la barrera placentaria (*AMAP*, 1998).

### 5.2.2 Aves

358. En las décadas de 1950 y 1960 se observó el adelgazamiento de las cáscaras de huevos de aves como una de las primeras consecuencias ecológicas de la dispersión del mercurio (y otros tóxicos ambientales). En este caso, el metilmercurio se estaba usando en el tratamiento de semillas, y se observó un grave envenenamiento de la fauna en Escandinavia y América del Norte. Las poblaciones de faisanes y otras aves granívoras, así como aves de rapiña (por ejemplo, halcones y águilas) se redujeron drásticamente y, en algunas zonas, casi desaparecieron (*Ramel*, 1974). Por esa razón, desde entonces se han utilizado aves, plumas y huevos para vigilar los efectos del mercurio y se dispone de un número de parámetros sobre los efectos.

359. Las aves que sufren de envenenamiento agudo generalmente tienen residuos de mercurio en todo el cuerpo que sobrepasan los 20 mg/kg de peso húmedo (*US EPA*, 1997).

360. *Burger y Gochfeld* (1997) citan un número de estudios que relacionan concentraciones de mercurio en los huevos con una variedad de efectos en las aves, en particular, una reducción de la tasa de eclosión de los huevos, supervivencia de los pollitos y otros problemas de reproducción. Las concentraciones efectivas varían de 0,05 a 5,5 mg/kg de peso húmedo en huevos, estando la mayoría en torno a los 0,5-1,0 mg/kg de peso húmedo (véase la tabla 5.1). Cabe señalar que los niveles efectivos varían según las especies, dependiendo de sus preferencias alimentarias, por ejemplo, y que la extrapolación de dichos niveles a otras especies deberá hacerse con cuidado.

361. En particular, la capacidad de las aves para desmetilar metilmercurio (que puede estar relacionada con su preferencia alimentaria – dieta de pescado o dieta de vegetales) tiene consecuencias importantes para la evaluación del riesgo que corren, ya que la mayor parte de las pruebas se han hecho con especies que no se alimentan de pescado. Además, se deben mencionar los efectos de factores de confusión como la coexposición al selenio en la toxicidad del metilmercurio, pues estudios de laboratorio han mostrado que el selenio produce efectos protectores y, en algunos casos, antagónicos en patos silvestres dependiendo de la etapa de vida en que se encuentren (*US EPA*, 1997).

Tabla 5.1 Resumen de niveles de mercurio de efectos adversos agudos y de otro tipo en aves

Nivel	Concentración	Referencia
<b>Nivel de efectos agudos</b>		
Residuo en todo el cuerpo	20 mg/kg de peso húmedo	US EPA, 1997
<b>Otros niveles de efectos adversos</b>	0,5-2,0 mg/kg de peso húmedo	Presentación canadiense, sub42gov
Huevos		
Huevos	0,05-5,5 mg/kg de peso húmedo	Burger y Gochfeld, 1997
Plumas (datos de laboratorio)	5-65 mg/kg de peso seco	Burger y Gochfeld, 1997
Dieta de pescado	0,3-0,4 mg/kg de peso húmedo (en pescado)	Scheuhammer <i>et al.</i> , 1998 en Pirrone <i>et al.</i> , 2001.
Dieta de pescado (estudios de campo)	0,2 – 0,4 mg/kg de peso húmedo	Varias fuentes citadas en la presentación canadiense, sub42gov (véase texto más abajo).
Dieta de pescado (datos de laboratorio)	> 0,5 mg/kg de peso húmedo	Fuentes citadas en la presentación canadiense, sub42gov (véase texto más abajo).

362. Como la sensibilidad a la toxicidad del mercurio depende de las especies, es difícil predecir los umbrales tóxicos del mercurio en huevos de aves marinas. Sin embargo, estudios de laboratorio en otras especies de aves indican que los efectos adversos del mercurio en la reproducción pueden ocurrir con concentraciones en el huevo de 0,5 a 2,0 mg/kg de peso húmedo (Burgess y Braune, 2001). Las concentraciones de mercurio que se encuentran en los huevos de paño de Leach ya están en esta gama y las de los huevos de otras especies canadienses siguen aumentando y ya se acercan a estos niveles.

363. En plumas de aves, se han observado concentraciones de mercurio de 5 a 65 mg/kg de peso seco, asociadas a efectos adversos (Burger y Gochfeld, 1997). Al respecto véase la tabla 5.1.

364. En estudios de alimentación controlada, se ha visto que concentraciones de mercurio de hasta 0,5 mg/kg de peso húmedo en la dieta han producido efectos en la reproducción y el comportamiento. Estudios de campo sobre colimbos comunes de vida libre informan de efectos adversos cuando el mercurio en peces depredadores llega a 0,2 – 0,4 mg/kg de peso húmedo (Barr, 1986; Nocera y Taylor, 1998; Scheuhammer, 1995).

365. Se ha sugerido (aunque no probado) que el metilmercurio puede surtir efectos inmunotóxicos y aumentar la prevalencia de enfermedades crónicas en la garza morena morfo blanco (Spalding *et al.*, 1994), lo cual concuerda con los resultados inmunotóxicos obtenidos con metilmercurio en mamíferos de laboratorio y puede ser una consecuencia particularmente importante de la exposición al metilmercurio de diversas poblaciones de animales silvestres, que frecuentemente sufren de enfermedades infecciosas (USA, comm-24-gov). Para un análisis de los efectos inmunotóxicos y histopatológicos del metilmercurio en aves silvestres, consúltese Wolfe *et al.* (1998) y Spalding *et al.* (2000).

366. La US EPA estableció criterios de protección de las aves para el martín pescador, el colimbo, el águila pescadora y el águila cabeza blanca, en la gama de los 33 a 100 pg de metilmercurio/l de agua (véase la tabla 5.2). La US EPA observó que los criterios reflejan concentraciones efectivas que sobrepasan en algo más que dos órdenes de magnitud los que sirven de base para determinar la dosis de referencia para seres humanos y que los criterios no tienen en cuenta efectos más sutiles, como los observados en seres humanos últimamente (US EPA, 1997).

Tabla 5.2 Criterios de referencia para metilmercurio en agua (US EPA, 1997).

Organismo	Criterio (pg/l) *
Martín Pescador	33
Colimbo	82
Águila pescadora	82
Águila cabeza blanca	100

Nota: \* 1 pg (picogramo) es  $10^{-12}$  g.

### 5.2.3 Peces

367. Se considera que los niveles tóxicos para los peces adultos están muy por encima de los que se dan generalmente en el medio ambiente (excepto en sistemas sumamente contaminados); sin embargo, estudios recientes llevan a pensar que la exposición al mercurio en las primeras etapas de vida de algunos peces puede afectar su crecimiento, desarrollo y estado hormonal a niveles que son menos del décuplo de los que se encuentran en lagos “prístinos”, es decir, lagos sin fuentes puntuales de mercurio conocidas (US EPA, 1997 (Volume VI); Friedman *et al.*, 1996; Wiener y Spry, 1996). Además, Wiener y Spry (1996) llegaron a la conclusión de que, si bien la exposición hídrica directa al metilmercurio en general no es una preocupación seria en el caso de los peces adultos, la exposición indirecta por la alimentación y la transferencia materna de metilmercurio a los huevos y embriones en desarrollo produce efectos a concentraciones cien veces menores que las que afectan a los peces adultos. Esos efectos pueden ser motivo de preocupación (por ejemplo, en el caso de la mortalidad de los embriones en huevos de trucha de lago a concentraciones que oscilan entre 0,07 y 0,10  $\mu\text{g/g}$  de peso húmedo en comparación con la toxicidad que sufren los adultos a concentraciones entre 10 y 30  $\mu\text{g/g}$ ). Aunque no de manera concluyente, los autores sugieren que los niveles existentes de exposición al mercurio pueden perjudicar el éxito reproductivo de algunas poblaciones de lucio perca americana (USA, comm-24-gov).

368. Las concentraciones de mercurio y la biomagnificación en los peces han sido muy estudiadas debido a los riesgos que representa para los seres humanos el mercurio presente en el pescado que consumen. En general, la toxicidad aguda (CL50 a las 96 horas) varía entre 33 y 400  $\mu\text{g/l}$  en peces de agua dulce; los peces de agua salada son menos sensibles (WHO/IPCS, 1989).

### 5.2.4 Microorganismos

369. El mercurio es tóxico para los microorganismos y se lo utiliza desde hace mucho para inhibir el crecimiento de bacterias en experimentos de laboratorio (WHO/IPCS, 1990). Se han señalado efectos de compuestos inorgánicos del mercurio a concentraciones de 5  $\mu\text{g/l}$  en cultivos de microorganismos, y de compuestos orgánicos de mercurio a concentraciones por lo menos 10 veces menores (WHO/IPCS, 1991). Como se mencionó anteriormente, se han utilizado compuestos orgánicos de mercurio en tratamientos fungicidas de semillas.

370. Diversas investigaciones en suelos de bosques templados han mostrado que se pueden esperar efectos adversos en los procesos microbianos a concentraciones que corresponden al nivel actual, multiplicado por un factor de aproximadamente 3. (Rundgren *et al.*, 1992; Tyler, 1992, en Pirrone *et al.*, 2001). Sin embargo, un estudio de investigación reciente indica que los efectos ya pueden verse en los suelos de grandes partes de Europa (Johansson *et al.*, 2001; Johansson, 2001) y posiblemente en muchos otros lugares del mundo que tienen suelos de características similares.

371. A fin de prevenir los efectos ecológicos del mercurio en suelos orgánicos, últimamente se han establecido límites críticos preliminares de mercurio total en el suelo de 0,07-0,3  $\text{mg/kg}$ . Dichos límites fueron elaborados por un grupo internacional de expertos en límites críticos de metales pesados basados en los efectos, trabajando en el marco del Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa

(Curlic *et al.*, 2000; cita de Pirrone *et al.*, 2001). La biodisponibilidad del mercurio en el suelo tiene una gran influencia en su toxicidad. Esto significa que el factor determinante de la toxicidad del mercurio presente en los suelos es sobre todo la fracción disuelta en agua.

### 5.2.5 Otras especies

372. El mercurio presente en el agua afecta a las plantas acuáticas en concentraciones próximas a 1 mg/l cuando se trata de compuestos inorgánicos de mercurio, pero en concentraciones mucho más bajas cuando se trata de compuestos orgánicos de ese metal (WHO/IPCS, 1991). Las concentraciones elevadas de compuestos inorgánicos de mercurio afectan a las macroalgas reduciendo la germinación (AMAP, 1998).

373. La susceptibilidad de los invertebrados acuáticos al mercurio varía mucho. En general, los estadios larvales son más sensibles que los adultos. En exposiciones de 48 horas, la mortalidad del 50% de las larvas con frecuencia se alcanza a una concentración en torno a los 10 µg/l, que en general es 100 veces menor que la de los adultos. Las larvas de ostras son aún más sensibles al mercurio (WHO/IPCS, 1989). La toxicidad se ve también afectada por la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y dureza del agua (Boening, 2000).

374. Con respecto a otras clases de animales (por ejemplo, reptiles, anfibios), hay pocos datos que permitan sacar conclusiones sobre los niveles de riesgo. Varias especies (por ejemplo, caimán, tortuga mordedora) podrán experimentar una exposición considerable al metilmercurio debido a sus hábitos alimentarios piscívoros. Existen algunos datos sobre residuos presentes en caimanes, pero no se conoce el nivel de los efectos correspondientes (USA, comm-24-gov).

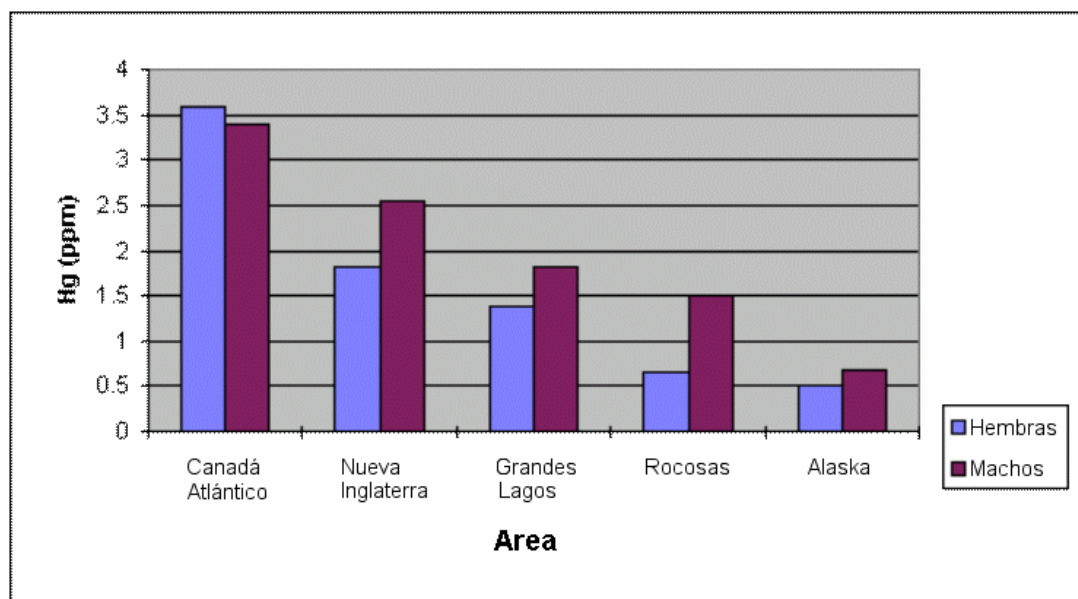
375. Hay muy poca información sobre la toxicidad en el medio terrestre, aparte de la que afecta a mamíferos y aves, y los datos obtenidos recientemente sobre microorganismos. Las plantas terrestres son bastante insensibles a los efectos tóxicos de los compuestos de mercurio. Sin embargo, el mercurio se acumula en las plantas superiores, especialmente en las perennes (Boening, 2000). El principal efecto en las plantas se observa en las puntas de las raíces (Boening, 2000).

## 5.3 Ecosistemas en riesgo y especies vulnerables

376. Esta sección describe los riesgos adicionales que corren los ecosistemas y las diversas especies debido a propiedades específicas del mercurio y el medio ambiente. A escala mundial, la región del Ártico ha atraído recientemente la atención debido a la particular tendencia del mercurio a transportarse a larga distancia. Es importante reconocer, sin embargo, que los efectos del mercurio no son en absoluto exclusivos de la región ártica. Las mismas características de la cadena alimentaria y una dependencia similar de fuentes de alimentos contaminadas por mercurio se observan en determinados ecosistemas y comunidades humanas de muchos países del mundo, en particular aquellos en que predomina la alimentación a base de pescado. Por consiguiente, los mamíferos y aves que consumen pescado están más expuestos al mercurio que cualquier otro habitante del ecosistema acuático (Pirrone *et al.*, 2001).

377. En ausencia de una fuente específica de mercurio en el lugar, el patrón de la deposición del mercurio en un país o continente contribuye en gran parte a determinar qué ecorregiones y ecosistemas resultarán más expuestos.

378. Por ejemplo, en Canadá y el norte de Estados Unidos, los niveles de mercurio en los colimbo disminuyen de este a oeste (presentación canadiense, sub42gov), véase la figura 5.1.



Fuente: Burgess, 1998; Evers *et al.*, 1998 en la presentación canadiense sub42gov.

(ppm = mg/kg)

Figura 5.1 Concentraciones medias de mercurio en la sangre del colimbo en Canadá y el norte de Estados Unidos, de este a oeste (presentación canadiense, sub42gov)

### 5.3.1 Cadenas alimentarias acuáticas

#### Medio marino

379. Los principales depredadores marinos son especialmente vulnerables a la exposición al mercurio por las razones explicadas en párrafos anteriores. Los niveles del mercurio en las focas anilladas y belugas se han duplicado y cuadruplicado durante los últimos 25 años en algunas áreas del Ártico canadiense y Groenlandia (Muir *et al.*, 2001; Wagemann *et al.*, 1996). Sin embargo, todavía no se conocen bien las cantidades del mercurio presente en el ambiente biológico que provienen de fuentes naturales y de la actividad humana.

380. En aguas más cálidas, los mamíferos marinos depredadores pueden estar expuestos a niveles de mercurio que representan un peligro para la salud. En un estudio de la población de delfines jorobados realizado en Hong Kong, se determinó que el mercurio representa un riesgo particular para la salud, peor que el de otros metales pesados (Parsons, 1998).

381. Estudios recientes indican que en la subsuperficie de los océanos, que tiene niveles bajos de oxígeno, el mercurio se transforma en metilmercurio, alimentando la bioconcentración de este último en los peces y en la cadena alimentaria. Se observó una cuadruplicación de las concentraciones de metilmercurio en especies de peces entre una profundidad de menos de 200 m y más de 300 m, no registrándose aumentos a mayores profundidades, incluso de hasta unos 1.200 m (Monteiro *et al.*, 1999).

#### Medio dulceacuícola

382. En su reciente informe, la *US EPA* (1997) presentó un número de características de los ecosistemas de agua dulce que corren el mayor riesgo debido a las liberaciones atmosféricas de mercurio:

- están ubicados en áreas donde la deposición atmosférica de mercurio es abundante;
- las aguas superficiales ya están afectadas por deposiciones ácidas;

- además de un pH bajo, tienen otras características que favorecen niveles altos de bioacumulación, y/o
- contienen especies sensibles.

383. Podría añadirse, con respecto a otras partes del mundo, que las masas de agua dulce sujetas a liberaciones locales directas de mercurio también están en riesgo.

384. Asimismo, las autoridades ambientales canadienses reconocen que las especies que se alimentan de pescado en regiones en que la deposición de mercurio es mayor y en áreas que favorecen la metilación, tales como cuencas hidrográficas parcialmente acidificadas, cuencas que poseen grandes humedales con alto contenido en carbono orgánico disuelto, y embalses, pueden correr riesgos mayores al ser mayor la exposición al mercurio por la dieta (presentación canadiense, sub42govatt1).

385. Diversos estudios han mostrado que aproximadamente 30% de los lagos muestreados en Ontario contenían peces pequeños (<250 g) con concentraciones medias de mercurio superiores a 0,3 ppm, nivel propuesto como umbral de la dieta alimentaria para la disfunción reproductiva grave en aves piscívoras (colimbos) (Scheuhammer y Blancher, 1994, en la presentación canadiense, sub42gov).

386. El mapa de la figura 5.2 muestra, por rango, las concentraciones de mercurio en peces de agua dulce de 3.200 diferentes lugares de Canadá (mapa sujeto a actualización; próximamente se añadirán datos adicionales sobre la región canadiense del Atlántico).

### **Cambios de clima**

387. Si se mantienen constantes los demás factores, la contaminación de los peces con mercurio suele ser mayor en lagos pequeños que en grandes, posiblemente porque los lagos pequeños son más cálidos, lo cual aumenta la metilación del mercurio. Esta relación puede tener otras importantes consecuencias para la metilación del mercurio y su acumulación en los peces en el contexto de cambio climático a largo plazo (Canadian Dept. of Fisheries and Oceans, 1998).

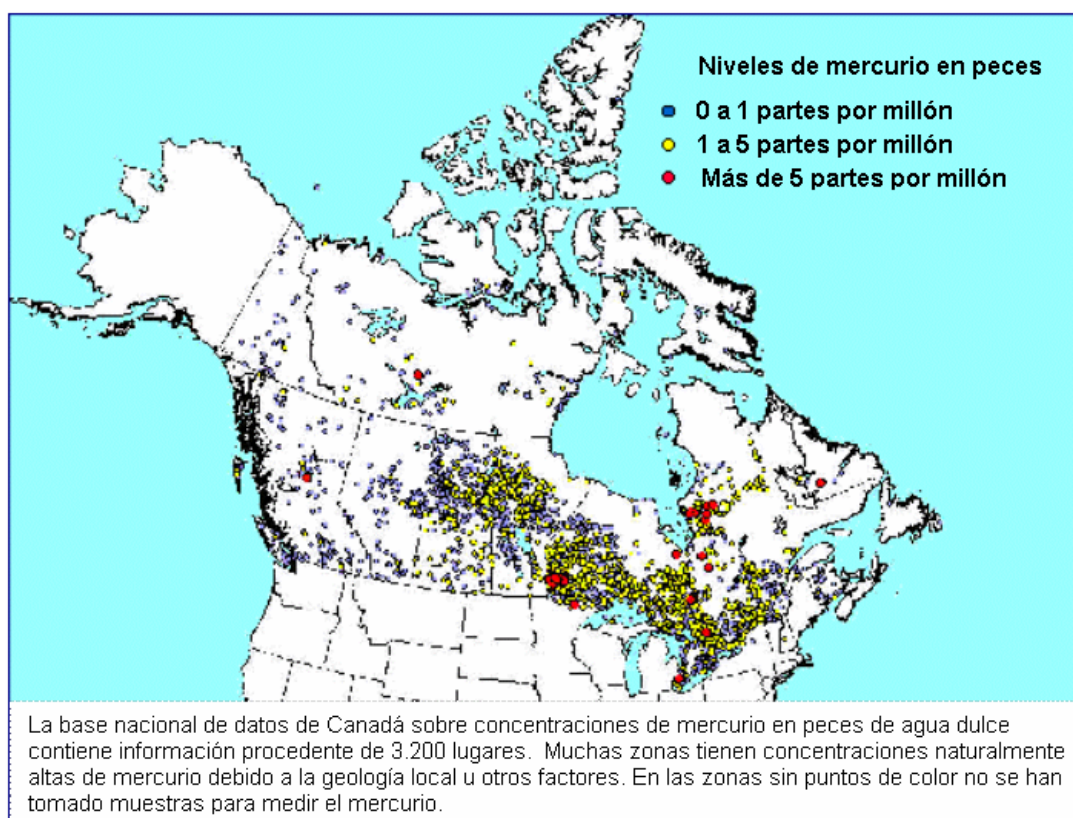
388. Asimismo, el ascenso de los niveles del agua y el aumento de nuevas zonas inundadas, posibles consecuencias del cambio climático, podrían incidir en la tasa de liberación y metilación del mercurio, ya que se ha demostrado que esos fenómenos producen una mayor liberación de mercurio y formación de metilmercurio (presentación de Canadá, sub32gov, y comentarios de ese país, comm-20-gov).

### **5.3.2 La cadena alimentaria terrestre**

389. Históricamente, el uso de compuestos orgánicos de mercurio para el tratamiento de semillas de uso agrícola provocó la exposición de animales granívoros, particularmente aves y roedores, a ese metal (Fimreite, 1970; Johnels *et al.*, 1979, en Pirrone *et al.*, 2001). Es de prever que haya efectos en el medio terrestre en los lugares donde se sigan usando semillas revestidas de mercurio.

390. Hasta hace poco, no se consideraba que los compuestos inorgánicos de mercurio produjesen muchos efectos en el compartimento edáfico, porque se adhieren a las partículas del suelo y no son muy biodisponibles para las plantas y otros organismos. De hecho, la absorción de mercurio elemental gaseoso a través de las hojas es mucho más eficiente que la absorción de mercurio del suelo (Hg(II)) por las raíces; por lo tanto, es posible que la principal exposición de las plantas sea atmosférica.

391. Nuevos estudios de campo y laboratorio han indicado que es probable que en el sur de Suecia la actividad microbiológica de los suelos se esté reduciendo por causas relacionadas con el mercurio (Bringmark y Bringmark 2001a; 2001b; Palmborg *et al.*, 2001; todos ellos en Pirrone *et al.*, 2001). Las constataciones realizadas en Suecia y en otros países muestran que la actividad microbiológica de la capa superior del suelo parece ser muy sensible a la carga de mercurio y que es posible que ya se estén sufriendo efectos significativos en suelos de bosques de grandes extensiones de Europa y posiblemente en muchos otros lugares del mundo que tienen suelos de características similares (Johansson *et al.*, 2001; Johansson, 2001; todos en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov)).



Fuente: Draft Status and Trends Report, Ministerio del Medio Ambiente de Canadá, 2001.

Figura 5.2 Concentraciones de mercurio en peces de agua dulce en Canadá (presentación de Canadá, sub42gov)

392. La actividad microbiológica que tiene lugar en los suelos es vital para el procesamiento del carbón y los nutrientes del suelo, y la salud de la comunidad microbiológica tiene un gran efecto en las condiciones de vida de árboles y organismos del suelo, que forman la base de la cadena alimentaria terrestre.

### 5.3.3 La región ártica

393. La región ártica es afectada por el mercurio transportado a larga distancia. Los sedimentos árticos contienen concentraciones cada vez más grandes de mercurio y hay pruebas de que la concentración en algunos mamíferos marinos ha aumentado de dos a cuatro veces durante los últimos 25 años en algunas zonas del Ártico canadiense y Groenlandia (Muir *et al.*, 2001; Wagemann *et al.*, 1996; ambos en la presentación canadiense, sub42gov). Hasta qué punto esto se debe al aumento de las concentraciones de mercurio o al aumento de la fracción de mercurio total biodisponible – posible resultado de la tendencia actual al calentamiento climático y al aumento de la actividad biótica en el Ártico – es un tema que actualmente se está discutiendo en el *AMAP* (comentarios de Canadá, comm-20-gov). La cadena alimentaria marina del Ártico a menudo es objeto de atención especial por el riesgo que representa el mercurio para los ecosistemas y los efectos que este metal tiene en las poblaciones humanas. En el Ártico, la cadena alimentaria acuática es muy larga y tiene tres niveles de depredadores en la parte superior (incluyendo a los seres humanos), en que el mercurio se concentra mucho por biomagnificación.

394. Existe abundante información disponible sobre concentraciones y tendencias del mercurio, particularmente del *AMAP*, que publicó un informe de evaluación exhaustivo en 1998. Tiene previsto publicar otro informe de evaluación para 2002/2003. Sin embargo, aún no se sabe con certeza si el

mercurio representa una amenaza para la salud de los grupos de mamíferos marinos del Ártico más expuestos.

395. La exposición de los depredadores de nivel superior y la acumulación de mercurio en ellos también ocurre en regiones templadas y subárticas donde la biomagnificación es más evidente en ambientes acuáticos (US EPA, 1997). Los animales que se considera que corren mayor riesgo de sufrir efectos adversos del mercurio son aquí también las especies que se alimentan de pescado (por ejemplo, nutrias, focas, águilas) o de especies piscívoras (por ejemplo, los osos).

396. A efectos comparativos, la figura 5.3 muestra los niveles de concentración de mercurio que se encuentran en diferentes tipos de tejidos de peces, aves y mamíferos del Ártico. Obsérvese que las concentraciones se representan en escala logarítmica, lo que significa que las grandes diferencias entre las concentraciones de los diversos niveles tróficos parecen visualmente pequeñas. La figura fue elaborada en el *AMAP* (1998).

### 5.3.4 Problemas en regiones tropicales

397. Grandes cantidades de mercurio son liberadas en las aguas del Amazonas y en el aire de vastas zonas de extracción de oro, donde se utiliza el mercurio para amalgamar el precioso metal. El impacto de esas actividades se extiende a zonas más alejadas y se hace sentir, por ejemplo, en los humedales del Pantanal en el oeste de Brasil, y en partes de Bolivia y Paraguay (Leady y Gottgens, 2001). La deposición del mercurio tras la corrida del oro fue más de 1,5 veces superior a la tasa de deposición en el sitio de referencia de Acurizal, lo cual confirmó los efectos regionales del mercurio ocasionados por la minería del oro. La acumulación de mercurio en Acurizal tras la corrida de 1980 también fue 2,1 veces superior a la tasa dada como referencia mundial en ese período, lo cual sugiere un efecto adicional en esos sitios de referencia que abarca toda la cuenca. Los autores calculan que solamente del 2 al 8% del mercurio total liberado por la minería de oro se fijó en los sedimentos. El resto del mercurio se perdió en la atmósfera o en zonas corriente abajo, o bien quedó almacenado en la biota.

398. Otras fuentes de aumentos intermedios en la movilización del mercurio en las selvas tropicales son el desbroce de tierra (corte y quema) con fines agrícolas o mineros. Estas actividades permiten que el mercurio ya presente en el suelo se vea más expuesto a los mecanismos de movilización.

399. Biológicamente, los ecosistemas tropicales y los templados tienen una diferencia de carácter general que puede ser la causa de la mayor vulnerabilidad de los primeros. Los ecosistemas tropicales sustentan más especies y el nicho de cada especie se hace más pequeño. En ambos ecosistemas, los depredadores de nivel superior son las especies vulnerables, pero en los trópicos cada especie está representada por relativamente pocos ejemplares, lo cual amplifica el efecto de pérdida de cada uno (Burger, 1997).





### 5.3.5 Embalses y humedales

400. A menudo se menciona a embalses y humedales como fuentes de metilmercurio porque en los sedimentos tiene lugar la metilación de compuestos inorgánicos de mercurio (presentación canadiense, sub42govatt1).

401. De acuerdo con la presentación canadiense (sub42gov), la “formación de embalses es una importante fuente de contaminación de los peces por mercurio en Canadá”, porque el mercurio presente en las tierras recientemente inundadas se hace más disponible y, por lo tanto, más tóxico debido al aumento de la tasa de conversión a metilmercurio. La mayor parte de los peces capturados en los embalses nuevos tienen concentraciones de mercurio que sobrepasan el límite de consumo de 0,2 mg/kg de peso húmedo recomendado por el Ministerio de Salud de Canadá para las personas que consumen pescado con frecuencia (presentación de Canadá, sub42gov).

402. En una investigación sobre el mercurio en plumas de aves de varios lugares tropicales, Burger (1997) informó que, si bien las aves piscívoras generalmente tenían el contenido más alto de mercurio, se había encontrado un contenido similar en garzas ganaderas de la zona de la Presa de Asuán, una especie insectívora. El autor sugirió que la causa podría ser una mayor cantidad de metilmercurio en la cadena alimentaria debido a la reciente inundación de la zona, que habría iniciado el proceso de metilación.

403. Un experimento realizado en un humedal y estanque de la zona de los Lagos Experimentales del noroeste de Ontario demostró que los humedales naturales son sitios importantes de metilación del mercurio y que, cuando se inundan, aumentan las tasas de metilación por un factor de más de 30 (presentación de Canadá, sub42gov). Se observó un aumento de las concentraciones de metilmercurio en el agua, la cadena alimentaria y, por último, en los peces. La vigilancia de los embalses boreales permitió determinar que las concentraciones de metilmercurio en los peces pueden volver a los valores normales 10 a 50 años después de la inundación.

### 5.3.6 Aves de rapiña y aves piscívoras

404. Las aves piscívoras se exponen al mercurio por el pescado que consumen. En las regiones donde los peces tienen altas concentraciones de mercurio, estas aves pueden correr el riesgo de sufrir efectos en la reproducción y el comportamiento (Scheuhammer, 1995, en Pirrone *et al.*, 2001).

405. El uso de aves marinas como bioindicadoras de la calidad del medio marino está ampliamente reconocido. El Ministerio del Medio Ambiente de Canadá (2001) señaló que, como buscan su alimento en muchos lugares y viven mucho tiempo, las aves marinas integran las exposiciones al mercurio que han sufrido a través de grandes áreas geográficas, y pueden ser un excelente bioindicador de las tendencias del transporte atmosférico de mercurio a grandes distancias. Con las aves se pueden utilizar estrategias de vigilancia no invasivas, tales como la recolección de plumas y huevos.

406. Durante los últimos 20 años, las concentraciones de mercurio en los huevos de las aves marinas del Ártico canadiense han aumentado 2 a 3 veces (Braune *et al.*, 1999), hecho similar a los aumentos señalados en las focas anilladas y belugas del Ártico durante el mismo periodo. En un estudio detallado de las condiciones canadienses, Burgess y Braune (2001) afirmaron ya en el momento de la investigación que el contenido de mercurio en los huevos indicaba un riesgo reproductivo:

“Las concentraciones más altas de mercurio en los huevos se observaron en el paño de Leach y mostraron el mayor aumento a lo largo del tiempo. Las concentraciones y los aumentos registrados a lo largo del tiempo en el frailecillo del Atlántico, el arao de pico ancho y el fulmar boreal fueron similares. Todas esas especies se distribuyen en aguas del Ártico o el Atlántico Norte durante todo el año y buscan su alimento mar adentro. En cambio, las concentraciones de mercurio en los huevos del cormorán de dos crestas y la gaviota tridáctila no han aumentado con el tiempo. Estas especies invernan en zonas más septentrionales del océano Atlántico. Las concentraciones representan una posible amenaza para la reproducción de algunas especies de aves marinas, que aumentará si la tendencia continúa”.

407. Asimismo, las concentraciones en las plumas indican niveles de mercurio cada vez mayores, pautas de distribución geográfica y diferencias en los hábitos alimentarios.

408. Monteiro y Furness (1997) mostraron recientemente que las plumas de aves piscívoras que pescan en la zona mesopelágica más profunda acumulan concentraciones de mercurio más altas que las aves piscívoras que pescan en las capas superiores de la columna de agua. Comparando esos datos con los de plumas procedentes de muestras de museo anteriores a 1931, demostraron que la acumulación también ha aumentado entre 65 y 397%.

409. En un estudio complementario, Monteiro *et al.* (1999) señalaron una relación similar entre poblaciones de aves de las islas portuguesas del Atlántico y colonias continentales. Las concentraciones de mercurio en los huevos eran en general de 1 a 5 mg/kg de peso seco, dependiendo de la ubicación geográfica y la especie. Esas aves, que vivían en lugares bastante aislados, contenían concentraciones de mercurio en los huevos muy superiores al nivel mínimo de efecto adverso observado de 0,5 mg/kg de peso seco propuesto por Burger y Gochfeld (1997). Los niveles de mercurio en las plumas también eran más altos que el nivel de efecto adverso de 5 mg/kg de peso seco. Comparándolos con los niveles de efecto adverso, Burger y Gochfeld (1997) mencionaron que las aves de rapiña y las piscívoras más vulnerables son, entre otras, los halcones y águilas, gaviotas y escúas, garzas y airones, pingüinos, albatros, patos, diversas aves costeras, golondrinas de mar, frailecillos y álcidos.

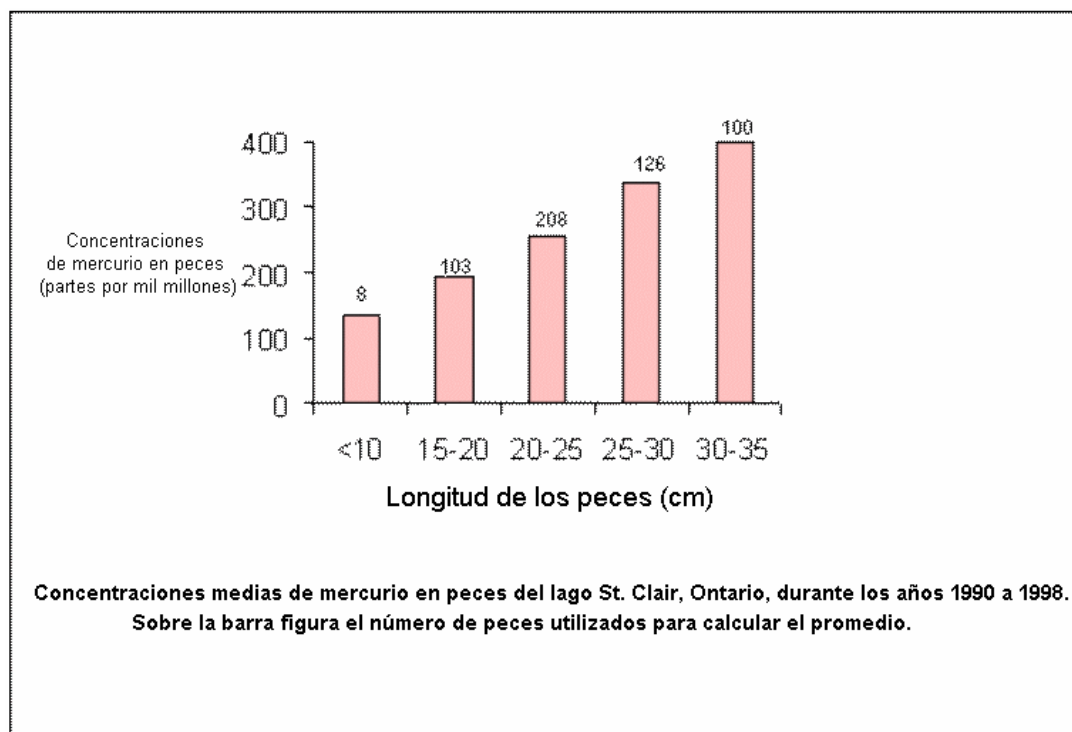
### 5.3.7 La experiencia canadiense

410. Dos recientes análisis del medio ambiente canadiense (Muir *et al.*, 1999; Braune *et al.*, 1999) dieron un panorama muy detallado de la situación y las tendencias relativas al mercurio y otros contaminantes. La sección siguiente se basa en esas referencias.

411. Los osos polares, focas anilladas y belugas de la región occidental del Ártico de Canadá presentaban concentraciones de mercurio elevadas en comparación con los de la región oriental, debido aparentemente a diferencias en la geología sedimentaria. Las belugas de medios contaminados (estuario del río San Lorenzo) tenían una concentración de mercurio en los riñones y el hígado mayor que las belugas de cinco lugares del Ártico. Como faltan datos de dosis/respuesta de animales árticos, esos datos no se pueden interpretar directamente para determinar efectos, pero las tasas de acumulación de mercurio son más altas (entre 1,5 y 2,5 veces) en las muestras tomadas recientemente de focas anilladas y belugas que lo que eran hace 10 o 20 años. En cambio, las concentraciones de cadmio han permanecido constantes durante el mismo período.

412. Los niveles de mercurio en los músculos de la mayoría de las especies de peces de agua dulce del Ártico canadiense sobrepasan el umbral establecido por la *US EPA* (1997) (entre 0,077 y 0,30 ppm para los peces del tercer nivel trófico) para la protección de aves y mamíferos piscívoros. Varios lagos de los Territorios del Noroeste y del Norte de Québec tienen poblaciones de peces cuyos niveles sobrepasan los valores indicados en las directrices para consumidores de pescado. Los niveles más altos de mercurio en general corresponden a peces de mayor edad y tamaño.

413. La figura 5.4 muestra niveles medios de mercurio en peces del lago St. Clair (Ontario) en el sur de Canadá. Los niveles más elevados de mercurio están asociados con peces de mayor edad y tamaño.



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente de Canadá 2001

Figura 5.4 Comparación entre la concentración de mercurio observada y el tamaño de los peces.

414. Los peces prácticamente no liberan metilmercurio, el cual representa aproximadamente el 90% del contenido de mercurio en estos animales. En comparación con el medio terrestre, casi todo el mercurio contenido en los riñones del caribú se encuentra en la forma inorgánica menos tóxica.

### 5.3.8 Evaluaciones de riesgos ecológicos

415. Se han realizado numerosas evaluaciones de riesgos ecológicos en diversos lugares del mundo. La tabla 5.3 muestra ejemplos de trabajos de elaboración de criterios y evaluaciones de riesgos.

Tabla 5.3 Ejemplos de estudios sobre la elaboración de criterios y evaluación de riesgos, recopilados por Estados Unidos (comm-24-gov).

Estudio	Constataciones	Referencia
1997 - Informe de la US EPA al Congreso sobre el estudio acerca del mercurio (1997 US EPA Mercury Study Report to Congress)	0,077-0,3 ppm de metilmercurio es el umbral estimado en peces forraje para la protección de especies piscívoras. El informe sugiere que es probable que individuos de algunas subpoblaciones silvestres muy expuestas estén experimentando efectos adversos tóxicos debido a las emisiones atmosféricas de mercurio.	US EPA, 1997
1999 - Evaluación de riesgos para el East Fork Popular Creek (East Fork Popular Creek Risk Assessment)	Riesgos moderados para el visón (24% de probabilidad de sufrir una mortalidad de por lo menos 15%) Riesgos moderados para el martín pescado (50% de probabilidad de una disminución de la fertilidad de por lo menos 12 a 28%)	Moore <i>et al.</i> , 1999
2000 - Evaluación de riesgos para los Everglades (2000 Everglades Risk Assessment)	25% - 59% de probabilidad de exceder el NOAEL del metilmercurio en la cigüeña americana, garza blanca grande, garza morena morfo blanco	Rumbold <i>et al.</i> , 2000
Recomendaciones del Ministerio del Medio Ambiente de Canadá para los residuos en tejidos	La recomendación para la protección de la fauna es < 0,033 ppm de metilmercurio en tejido de pez.	Caux <i>et al.</i> , 2000

416. Diversos estudios epidemiológicos efectuados con el objeto de asociar la exposición al mercurio con efectos medidos en condiciones naturales de campo aportan otra importante fuente de datos. En general, sus resultados no son suficientes para establecer en forma concluyente relaciones causales entre agente estresante y respuesta; sin embargo, son muy útiles para evaluar los efectos del metilmercurio en las poblaciones silvestres. Los datos de campo ofrecen varias ventajas, tales como una menor incertidumbre asociada con la extrapolación de efectos entre el laboratorio y el campo. Esa incertidumbre es particularmente importante en el caso del metilmercurio porque varias evaluaciones de riesgos ecológicos tienden a ser sensibles a grados relativamente bajos de incertidumbre (por ejemplo, un factor de 2 ó 3 incide mucho en los resultados). Para un análisis de estudios epidemiológicos de campo sobre colimbo, águila de cabeza blanca y otras especies, consúltese US EPA (1997) y Wolfe *et al.* (1998).

#### Variaciones locales de la vulnerabilidad del ecosistema

417. Es importante observar la compleja biogeoquímica del mercurio con respecto a determinada cadena alimentaria y en determinados medios. La sensibilidad del ecosistema local varía en función de las condiciones naturales y los factores antropógenos, lo cual implica que la “carga crítica” – el aporte de mercurio que aumenta la contaminación por este metal y es motivo de grave preocupación por la salud humana y el medio ambiente – varía de acuerdo con las condiciones locales. En algunos medios, las cargas de mercurio son bastante grandes pero tienen un efecto limitado en la materia viva, ya sea porque el mercurio no se bioacumula en forma eficiente a lo largo de la cadena alimentaria local que tiene determinada configuración, o bien porque el mercurio no se metila con facilidad (comentarios de Canadá, comm-20-gov). En otros casos, los ecosistemas pueden ser particularmente vulnerables a la carga de mercurio. Un buen ejemplo es la región ártica, donde al parecer las características de la cadena alimentaria favorecen la biomagnificación hasta niveles muy altos, exponiendo los seres humanos y otras especies de los niveles tróficos superiores a concentraciones elevadas (véase la sección 4.4.3). Otro ejemplo puede ser la gran vulnerabilidad de la microflora terrestre de suelos orgánicos de los bosques de Suecia (véase la sección 5.3.2).

## 5.4 Concentraciones de mercurio en los medios ambientales

418. En las presentaciones recibidas para la presente evaluación y en la literatura sobre el tema, se ha hecho referencia a un gran número de datos sobre concentraciones de mercurio en diversos medios ambientales (aire, agua, suelo, sedimentos) y biota (plantas, animales y otros organismos vivos). Para más detalles, se invita al lector a consultar, entre otras, las siguientes fuentes:

- Informes y datos del Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (*Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer*), disponibles en el sitio web <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/index.htm>
- Informes y datos del Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico (*AMAP*), disponibles en el sitio web <http://www.amapa.no/>
- Capítulo 3 del Tomo III de la Informe de la *US EPA* al Congreso sobre el estudio acerca del mercurio (US EPA, 1997), disponible en el sitio web <http://www.epa.gov/airprogm/oar/mercury.html>

419. Sería muy importante investigar y examinar todos esos datos, lo cual contribuiría a aumentar nuestros conocimientos sobre los efectos del mercurio como contaminante de escala mundial y nos indicaría las condiciones de base para las actividades de vigilancia. No ha sido posible hacerlo debido a las restricciones de tiempo y recursos impuestos al proceso del PNUMA de evaluación mundial sobre el mercurio. Por lo tanto, la información sobre las concentraciones de mercurio en peces recibida de diferentes partes del mundo (véase sección 4.5) es un indicador que ilustra la omnipresencia del mercurio en el medio ambiente mundial.

## 6 Fuentes y circulación del mercurio en el medio ambiente mundial

### 6.1 Panorama general

420. Las liberaciones de mercurio en la biosfera pueden agruparse en cuatro categorías:

- Fuentes naturales – liberaciones originadas por la movilización natural del mercurio generado de forma natural en la corteza terrestre, por actividad volcánica o por erosión de las rocas;
- Liberaciones antropógenas (asociadas con la actividad humana) actuales debidas a la movilización de impurezas de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles –en particular carbón y, en menor grado, el gas y el petróleo– y otros minerales extraídos, tratados y reciclados;
- Liberaciones antropógenas actuales generadas por el mercurio utilizado intencionalmente en productos y procesos, causadas por liberaciones durante la producción, fugas, eliminación o incineración de productos de desecho u otras liberaciones;
- Removilización de liberaciones antropógenas pasadas depositadas en suelos, sedimentos, aguas, vertederos y pilas de desechos/residuos.

421. La figura 6.1 muestra estas categorías de liberaciones con los principales tipos de posibles mecanismos de control.

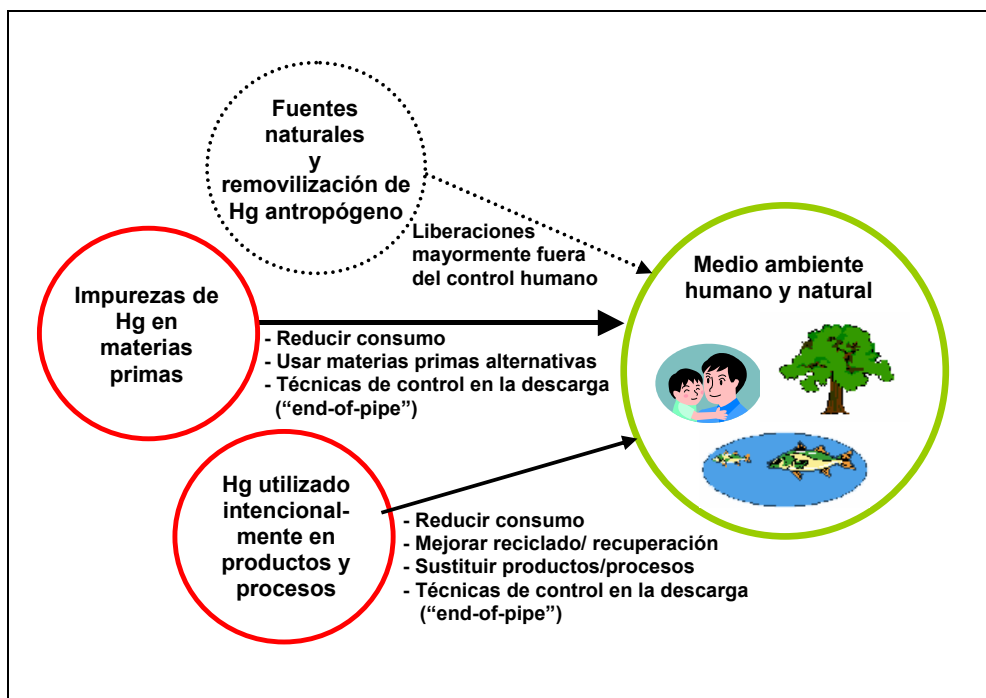


Figura 6.1 Categorización de fuentes de liberaciones de mercurio al medio ambiente y principales opciones de control.

422. Los receptores de las liberaciones de mercurio en el medio ambiente son la atmósfera, el agua (medios acuáticos), y los suelos (medios terrestres). Existen interacciones constantes - flujos de mercurio - entre estos compartimentos medioambientales. La especiación - forma química - del mercurio liberado varía según los tipos de fuente y otros factores, lo que influye también en las repercusiones en la salud de seres humanos y el medio ambiente puesto que la toxicidad varía según las especies de mercurio.

423. Por lo que sabemos del ciclo global del mercurio, las liberaciones actuales se agregan al fondo global de mercurio en la biosfera - mercurio en constante movilización, depositado en superficies terrestres y acuáticas y removilizado. Siendo un elemento, el mercurio es persistente - no puede descomponerse en sustancias menos tóxicas en el medio ambiente. Los únicos depósitos de largo plazo para eliminación del mercurio de la biosfera son los sedimentos del fondo del mar y, hasta cierto punto, los vertederos controlados, cuando el mercurio está fisicoquímicamente inmovilizado y permanece sin alteración frente a la actividad antropógena o natural (climática y geológica). Esto también significa que, aunque las liberaciones antropógenas de mercurio se vayan eliminando, la reducción de algunas concentraciones de mercurio – y las correspondientes mejoras ambientales– no será sino muy lenta, seguramente de varias décadas. Sin embargo, puede haber mejoras más rápidas en lugares determinados o en regiones afectadas sobre todo por fuentes locales o regionales.

#### **Liberaciones locales – efectos mundiales**

424. Los orígenes de la deposición atmosférica de mercurio (flujo de mercurio de la atmósfera a la tierra y los océanos) son locales y regionales así como hemisféricos o mundiales. Varios estudios significativos confirman la conclusión de que, además de las fuentes locales (plantas de cloro-álcali, combustión de carbón e incineración de desechos), la concentración de fondo de mercurio en la atmósfera global contribuye enormemente a la carga de mercurio en la mayor parte de las regiones. Asimismo, prácticamente cualquier fuente local contribuye a la concentración de fondo –depósito global de mercurio en la biosfera - que está constituida principalmente por liberaciones antropógenas acumuladas durante décadas. Las corrientes oceánicas también son vías de transporte del mercurio a largas distancias, y los océanos son importantes depósitos dinámicos de mercurio en el ciclo global.

425. La mayoría de las liberaciones antropógenas atmosféricas son emitidas como mercurio elemental gaseoso, que puede desplazarse a largas distancias con las masas de aire. El resto de las emisiones atmosféricas son compuestos divalentes gaseosos (por ejemplo  $\text{HgCl}_2$ ) o están unidos a partículas presentes en el gas de emisión. Estas especies tienen una vida atmosférica más corta que la del vapor elemental y se depositarán por procesos húmedos o secos en un radio de 100 a 1000 kilómetros. No obstante, durante el transporte atmosférico puede darse mucha actividad de conversión entre especies de mercurio, lo que determinará la distancia de su desplazamiento.

426. El tiempo de permanencia<sup>4</sup> del mercurio elemental en la atmósfera puede ser de unos meses hasta aproximadamente un año. Esto permite el transporte a escala hemisférica y, por eso, las emisiones en determinado continente pueden contribuir a la deposición en otros continentes. Por ejemplo, según la modelación del transporte intercontinental del mercurio realizada por EMEP/MSC-E (Travnikov y Ryaboshapko, 2002), hasta 50% del mercurio antropógeno depositado en América del Norte proviene de fuentes externas. Asimismo, se ha calculado que las contribuciones de fuentes externas a las deposiciones de mercurio antropógeno en Europa y Asia son de aproximadamente 20% y 15%, respectivamente.

427. Además, y como ya se ha mencionado, las fuentes acuáticas y terrestres pueden reemitir mercurio. Este proceso amplía enormemente el tiempo general de permanencia del mercurio en el medio ambiente. Las investigaciones recientes de Lindberg *et al.* (2001) muestran índices de reemisión de aproximadamente 20% durante un periodo de dos años, según mediciones de isótopos estables de mercurio en el noroeste de Ontario, Canadá.

#### **Fuentes antropógenas de liberaciones de mercurio**

428. Una gran parte del mercurio que ahora está presente en la atmósfera es producto de muchos años de liberaciones provenientes de actividades antropógenas. Es difícil estimar el componente natural de la carga total atmosférica, pero un estudio reciente (Munthe *et al.*, 2001) sugiere que las actividades

---

<sup>4</sup> Tiempo de permanencia en la atmósfera significa aquí el período de tiempo que comienza cuando se emite una molécula de mercurio determinada y termina cuando ésta se deposita (en tierra o en el agua). No incluye ninguna reemisión subsiguiente a la atmósfera.

antropógenas han multiplicado los niveles generales de mercurio en la atmósfera aproximadamente por un factor de 3.

429. Aunque algunas emisiones naturales de mercurio provienen de la corteza terrestre, las fuentes antropógenas son las que más mercurio contribuyen a la atmósfera, el agua y el suelo.

<b>Ejemplos de fuentes importantes de liberaciones antropógenas de mercurio</b>
<p><b>Liberaciones por la movilización de impurezas de mercurio:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de energía y calor alimentada por carbón (la fuente más grande de emisiones atmosféricas)</li> <li>• Producción de energía a base de otros combustibles fósiles de carbón</li> <li>• Producción de cemento (mercurio en cal)</li> <li>• Minería y otras actividades metalúrgicas que comprenden la extracción y elaboración de materiales minerales vírgenes y reciclados, por ejemplo, la producción de:           <ul style="list-style-type: none"> <li>- hierro y acero</li> <li>- ferromanganeso</li> <li>- zinc</li> <li>- oro</li> <li>- otros metales no ferrosos</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Liberaciones de la extracción y el uso intencional del mercurio:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minería del mercurio</li> <li>• Minería del oro y la plata en pequeña escala (proceso de amalgamación)</li> <li>• Producción cloroalcalina</li> <li>• Uso de lámparas fluorescentes, diversos instrumentos y amalgamas dentales</li> <li>• Fabricación de productos que contienen mercurio, por ejemplo:           <ul style="list-style-type: none"> <li>- termómetros</li> <li>- manómetros y otros instrumentos</li> <li>- interruptores eléctricos y electrónicos</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Liberaciones del tratamiento de desechos, cremaciones, etc. (provenientes tanto de impurezas como de usos intencionales del mercurio):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incineración de desechos (municipales, médicos y peligrosos)</li> <li>• Vertederos de basuras</li> <li>• Cremaciones</li> <li>• Cementerios (liberaciones al suelo)</li> </ul>

430. Existen considerables incertidumbres en los inventarios de liberaciones existentes, no sólo por fuentes sino por país. En la tabla 6.1 se presentan las mejores estimaciones existentes sobre emisiones de mercurio en la atmósfera que provienen de diversas fuentes.

431. Las emisiones de la combustión estacionaria de combustibles fósiles (sobre todo de carbón) y la incineración de materiales de desecho constituyen aproximadamente 70% de las emisiones atmosféricas totales contabilizadas de fuentes antropógenas importantes. Como el uso de combustibles fósiles está incrementando para poder satisfacer la creciente demanda de energía tanto de países desarrollados como en desarrollo, cabe esperar que las emisiones de mercurio aumenten, no habiendo las tecnologías de control ni fuentes energéticas sustitutas. Se han desarrollado tecnologías de control para las centrales y las incineradoras de desechos que operan a base de carbón con el propósito primordial de atacar las sustancias acidificantes (principalmente SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>), y materia particulada (MP). Estas tecnologías existentes pueden proporcionar cierto control de mercurio pero, desde una perspectiva mundial, por ahora no logran sino una pequeña reducción de mercurio de tales fuentes. Muchas tecnologías de control son considerablemente menos efectivas en la reducción de emisiones de mercurio elemental en relación con las otras formas. Se están desarrollando y poniendo a prueba mejores tecnologías para el control del mercurio, pero todavía no son comerciales.

432. Se considera que las estimaciones globales existentes sobre emisiones atmosféricas de la incineración de desechos así como otras liberaciones generadas por los usos intencionales del mercurio en procesos y productos están subestimadas y que, hasta cierto punto, son incompletas. No obstante,



durante las últimas dos décadas, la producción registrada de mercurio virgen ha pasado de unas 6000 a 2000 toneladas métricas por año y, por consiguiente, puede que también se estén reduciendo las liberaciones correspondientes a la extracción y el uso de mercurio.

433. Gracias a los esfuerzos de reducción, en América y Europa se han reducido las emisiones antropógenas de algunas fuentes importantes. Además, en algunos países desarrollados se han reducido las emisiones antropógenas totales en el aire durante la última década. Por ejemplo, en Canadá las emisiones se redujeron de 33 a 6 toneladas métricas entre 1990 y 2000 (comentarios de Canadá, comm-20-gov; presentación de Canadá, sub42gov).

*Tabla 6.1 Estimaciones de liberaciones atmosféricas globales de mercurio emitidas por distintas fuentes antropógenas importantes en 1995 (toneladas métricas/año). No se consideran las liberaciones a otros medios. \*1.*

Continente	Combustión estacionaria	Producción de metales no ferrosos *5	Producción de hierro y acero en lingotes	Producción de cemento	Eliminación de desechos *2	Extracción artesanal de oro *4	Suma, fuentes contabilizadas *3
Europa	186	15	10	26	12		250
África	197	7.9	0.5	5.2			210
Asia	<b>860</b>	<b>87</b>	<b>12</b>	<b>82</b>	33		1070
América del Norte	105	25	4.6	13	<b>66</b>		210
América del Sur	27	25	1.4	5.5			60
Australia y Oceanía	100	4.4	0.3	0.8	0.1		100
Suma, fuentes contabilizadas, 1995 *3,4	1470	170	30	130	110	300	1900 +300
Referencias:	Pirrone <i>et. al.</i> , (2001)	Pirrone <i>et. al.</i> , (2001)	Pirrone <i>et. al.</i> , (2001)	Pirrone <i>et. al.</i> , (2001)	Pirrone <i>et. al.</i> , (2001)	Lacerda (1997)	

- 1 En esta tabla no se incluyen liberaciones en medios acuáticos y terrestres –ni liberaciones atmosféricas de algunas otras fuentes- porque no existen estimaciones globales recientes. Ver en el Capítulo 6 una explicación de este tema.
- 2 Los autores del inventario consideran que estos valores están subestimados. Ver notas de la tabla 6.10.
- 3 Representa el total de las fuentes mencionadas en esta tabla y no todas las fuentes conocidas. Las cantidades han sido redondeadas y, por eso, puede que las sumas no cuadren con exactitud.
- 4 Las emisiones estimadas de la extracción artesanal del oro se refieren a la situación de finales de los años 1980 a principios de los años 1990. Una referencia más reciente (MMSD, 2002) indica que el consumo de mercurio relacionado con la extracción artesanal del oro –y por lo tanto muy probablemente también las liberaciones de mercurio- pueden ser incluso superior al que aquí se presenta.
- 5 Producción de metales no ferrosos, como mercurio, zinc, oro, plomo, cobre, níquel, que liberan mercurio.

### Fuentes naturales de liberación de mercurio

434. Algunas de las fuentes naturales son los volcanes, la evaporación de superficies terrestres y acuáticas, la degradación de minerales y los incendios forestales. Las emisiones naturales de mercurio están fuera de nuestro control y deben considerarse como parte de nuestro entorno vital a escala local y mundial. Con todo, es necesario no perder de vista estas fuentes, pues contribuyen a los niveles ambientales de mercurio. En algunas partes del mundo las concentraciones de mercurio en la corteza terrestre se elevan de manera natural, y contribuyen a elevar las concentraciones locales y regionales de mercurio en esas áreas.

435. Las emisiones actuales de mercurio de superficies terrestres y acuáticas se componen de fuentes naturales y de la reemisión de deposiciones anteriores de mercurio tanto de fuentes antropógenas como naturales. Esto dificulta la estimación de las emisiones naturales de mercurio reales. Para las estimaciones mundiales de emisiones naturales, véase la sección 6.3.6.

436. Las estimaciones de las emisiones de mercurio naturales en comparación con las antropógenas que se han publicado muestran una variación importante, aunque los estudios más recientes han subrayado la importancia de las contribuciones de la actividad humana (véase, por ejemplo, Fitzgerald *et al.* (1998), Jackson (1997) y Lamborg *et al.*, 2002)). Se están realizando esfuerzos para medir directamente las emisiones naturales (véase, por ejemplo, Coolbaugh *et al.*, 2002). Sea como fuere, la información existente indica que las fuentes naturales representan menos del 50% de las liberaciones totales.

437. En general, en todo el planeta hay indicios de que las emisiones antropógenas de mercurio han generado índices de deposición actuales entre 1,5 y 3 veces mayores a los existentes en la época preindustrial. Dentro de las áreas industriales y en sus inmediaciones los índices de deposición han aumentado de 2 a 10 veces durante los últimos 200 años (Lindquist *et al.*, 1984; Bergan *et al.*, 1999; véase asimismo la sección 6.4 sobre las trayectorias del mercurio).

### **La importancia de los usos intencionales en comparación con las impurezas en materiales de gran volumen**

438. Respecto a las liberaciones antropógenas, la importancia relativa de los usos intencionales en comparación con la movilización de impurezas de mercurio varía según el país o la región, y sobre todo por los siguientes factores:

- Grado de sustitución de usos intencionales (productos y procesos);
- Dependencia de los combustibles fósiles, sobre todo del carbón, para la generación de energía, y existencia de controles para otros contaminantes, que también reducen las emisiones de mercurio;
- Importancia de la minería y de la industria de extracción de minerales;
- Patrón de eliminación de desechos –incineración/rellenos sanitarios;
- Estado de la aplicación de tecnologías para el control de liberaciones en la generación de energía, incineración de desechos y diversos procesos industriales.

439. En varios países descritos en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov), la contribución estimada de los usos intencionales se sitúa entre 10 y 80% del total de las emisiones nacionales en el aire, según la incidencia de los factores antes mencionados. En la sección 6.3.2 se muestran estimaciones aproximadas de distribución según los principales tipos de fuentes antropógenas en cada país.

440. A manera de ejemplo, la figura 6.2 muestra el movimiento general del mercurio en la sociedad danesa en 1992/93. Dinamarca es un país bastante pequeño, con una vigilancia relativamente precisa de los flujos de productos y desechos en la economía y el medio ambiente. Por eso se han podido elaborar balances bastante detallados, mejor conocidos como evaluaciones de flujo de sustancias, para el caso del mercurio, que proporcionan información útil sobre la contribución de los diversos sectores a la carga total de mercurio en la sociedad y el medio ambiente. Como se muestra en la imagen, la mayor parte de la contribución –más de dos terceras partes– proviene de usos intencionales (producción y productos cloroalcalinos), y las contribuciones de usos intencionales a las liberaciones en el aire en 1992/93<sup>5</sup> podrían representar aproximadamente entre 50 y 80% de las liberaciones totales en la atmósfera desde Dinamarca. Hay que señalar que en Dinamarca la extracción y procesamiento de mineral primario no es un sector tan amplio como en otros países.

---

<sup>5</sup> La fuente (presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov) señala que desde 1992/93 el consumo de mercurio con usos intencionales en Dinamarca ha disminuido aún más y la reducción de emisiones de centrales térmicas a carbón e incineración de desechos se ha acentuado gracias a mejoras introducidas en la purificación de gases de combustión.

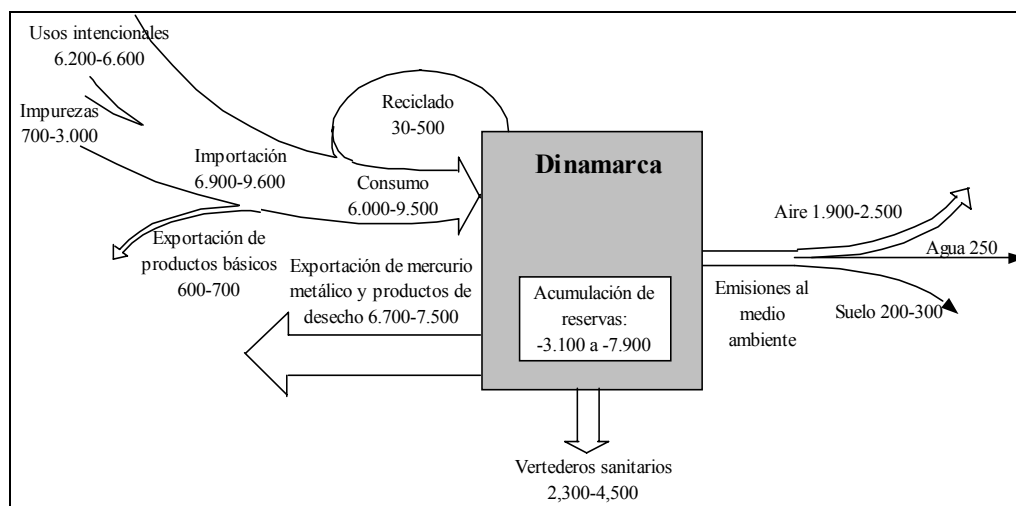


Figura 6.2 Movimiento general del mercurio en la sociedad danesa en 1992/93, en kilogramos de mercurio/año (según Maag *et al.*, 1996). Obsérvese que las entradas y salidas no cuadran porque las salidas reflejan entradas más elevadas de años anteriores. La variación neta en reservas fue negativa.

441. En la sección 6.3.4 se dan ejemplos de la distribución nacional de liberaciones antropógenas de mercurio provenientes de diversos tipos de fuente. Estas fuentes pueden ser significativas en países en que se practica la minería del mercurio o los usos intencionales de mercurio para la extracción de oro a pequeña escala (véase por ejemplo la presentación de Colombia, sub14gov).

442. Partes del texto descriptivo de este capítulo se basan en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov) y, en menor medida, en Pirrone *et al.* (2001).

## 6.2 Fuentes naturales de mercurio

443. Las fuentes naturales comprenden los volcanes, la evaporación de superficies terrestres y acuáticas, la degradación de minerales y los incendios forestales. Se puede encontrar mercurio en concentraciones pequeñas pero variables en prácticamente todos los medios geológicos. Constantemente están llegando a la atmósfera mercurio elemental y algunas formas de mercurio oxidado, en razón de su volatilidad. A causa a las altas temperaturas del manto terrestre, el mercurio tiene una gran movilidad y se difunde continuamente hacia la superficie. En las zonas de fracturas geológicas profundas, esos procesos tienen mayor intensidad. Allí se encuentran los llamados cinturones geoquímicos de mercurio, en cuya capa superior las concentraciones de ese metal exceden apreciablemente los valores medios. En algunas partes de esos cinturones, la gran acumulación de mercurio condujo a la formación de depósitos explotables (Jonasson y Boyle, 1971; Bailey *et al.*, 1973). Las regiones que presentan concentraciones elevadas de mercurio en las rocas superficiales se caracterizan por emitir grandes cantidades de mercurio a la atmósfera.

444. Sin embargo, las liberaciones actuales de mercurio de superficies terrestres y acuáticas no son exclusivamente naturales, sino que proceden en proporción considerable de deposiciones anteriores de mercurio procedente de fuentes antropógenas. Esto dificulta sobremanera la estimación de las emisiones naturales de mercurio reales. Por ejemplo, existen estimaciones totales de la reemisión de mercurio de superficies terrestres y acuáticas en Europa, pero incluyen el mercurio que procede de fuentes tanto naturales como antropógenas (Pirrone *et al.*, 2001).

445. Una parte considerable de las emisiones de mercurio procedentes de incendios forestales también pueden ser reemisiones de mercurio de fuentes antropógenas (USA; comm-24-gov).

446. Se ha intentado varias veces estimar las emisiones naturales de mercurio de escala regional y mundial. Sin embargo, es difícil hacerlo con precisión y varias instituciones todavía prosiguen las investigaciones en este campo (AMAP, 2000).

447. Gracias a los continuos estudios que se realizan sobre las liberaciones procedentes de las diversas fuentes, los flujos a la superficie de la tierra y la magnitud de los depósitos que se han acumulado en suelos, cuencas y océanos, los conocimientos acerca del ciclo mundial de mercurio, que se muestra esquemáticamente en la figura 6.3, han mejorado considerablemente. Aunque todavía hay mucha incertidumbre, cada vez es más evidente que las emisiones antropógenas de mercurio al aire equivalen o superan a las aportaciones naturales. Según estimaciones recientes, las cantidades de mercurio liberadas al aire por las actividades humanas constituyen entre el 50 y el 75% de la aportación total anual a la atmósfera de todas las fuentes (US EPA, 1997).

448. Mason *et al.* (1994) estimaron las emisiones naturales mundiales en alrededor de 1.650 toneladas métricas/año. En una puesta al día realizada por Lamborg *et al.* (2002), se estimaron en 1.400 toneladas métricas/año (como se ilustra en la figura 6.3). MSC-E y EMEP (comm-4-ngo) citan a Bergan y Rohde (2001) al referirse a una emisión natural mundial estimada en unas 2.400 toneladas métricas, de las cuales 1.320 fueron emitidas desde tierra y 1.100 desde los océanos.

## 6.3 Fuentes antropógenas de mercurio.

### 6.3.1 Movilización de impurezas de mercurio en materiales

449. El mercurio está naturalmente presente en el carbón y otros combustibles fósiles, así como en minerales como la cal, que se utiliza para producir cemento, y en los suelos (tales como suelos agrícolas sujetos al control de la acidificación) y minerales metalíferos, por ejemplo minerales de zinc, cobre y oro. La producción de energía a partir del carbón se considera actualmente la fuente más grande de emisiones atmosféricas de mercurio (Pacyna y Pacyna, 2000), debido al aumento del consumo mundial de energía y también al hecho de que las emisiones resultantes del uso intencional de mercurio están disminuyendo gradualmente en muchos países industrializados.

450. Por ejemplo, China informa lo siguiente con respecto a las emisiones de mercurio de la combustión de carbón en ese país:

“De acuerdo con los resultados de las investigaciones, el contenido promedio de mercurio en el carbón es de 0,038 – 0,32 mg/kg. A mediados de la década de 1990, la cantidad total de emisiones de mercurio de la combustión de carbón era de unas 296-302,9 toneladas métricas por año, que comprendían 213,8 toneladas métricas emitidas a la atmósfera y 89,07 toneladas métricas contenidas en las cenizas. El contenido promedio de compuestos orgánicos de mercurio en el carbón recolectado en 15 provincias y ciudades era de 0,037 mg/kg, representando 18,1% del mercurio. El contenido promedio de compuestos orgánicos de mercurio en cenizas volantes de la combustión de carbón era de 0,045 mg/kg, representando el 28,1% del mercurio total en las cenizas. De 1978 a 1995, la emisión de mercurio aumentó un promedio de 4,8% por año” (Comentarios de China, comm-19-gov).

451. Al relacionar esta información con estimaciones de emisiones mundiales de mercurio procedentes de grandes fuentes cuantificadas (aproximadamente 2.100 toneladas métricas/año en 1990), como se muestra en la tabla 6.11, es evidente que las emisiones de la combustión del carbón son importantes.

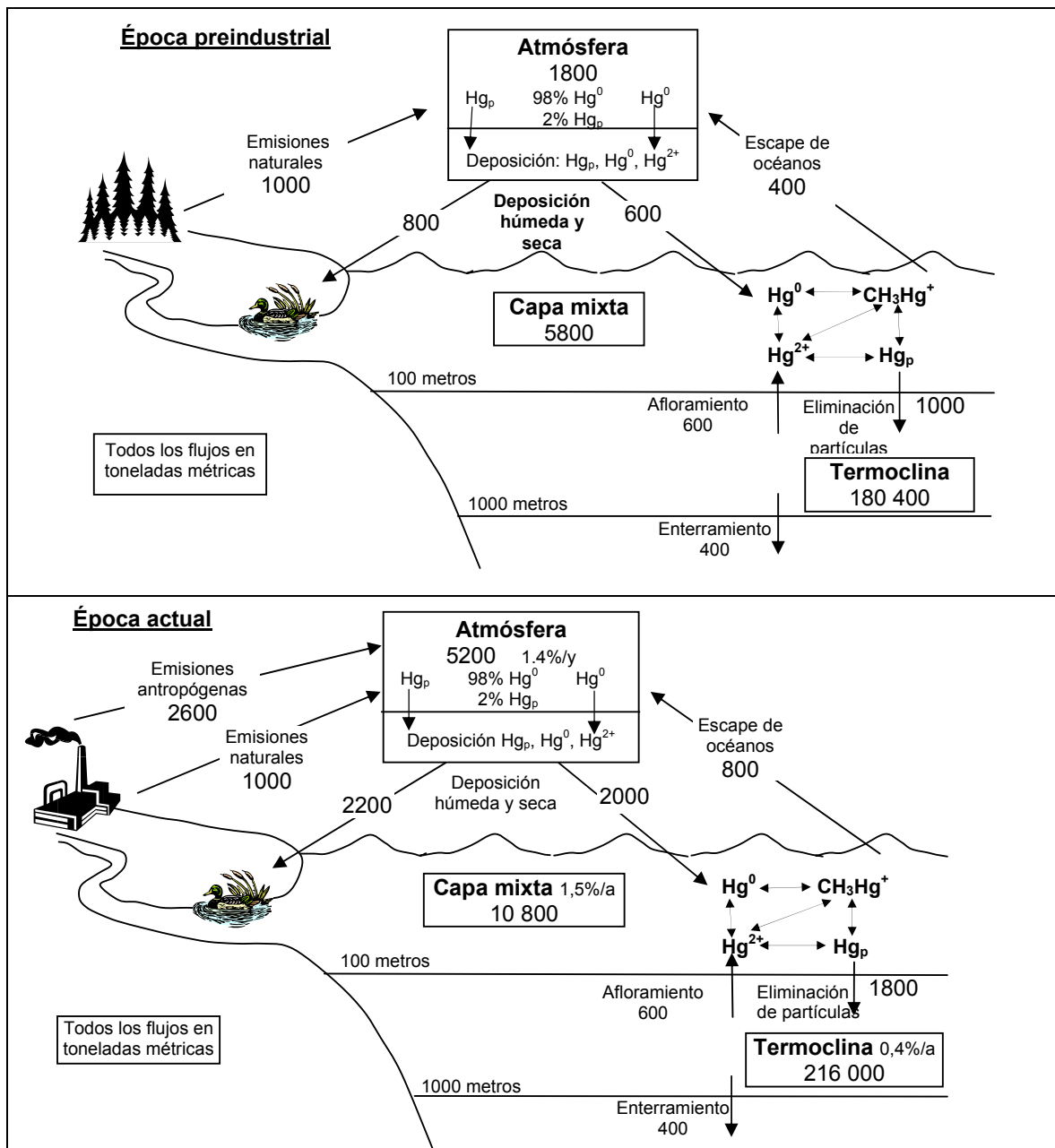


Figura 6.3 Comparación de los balances y flujos preindustriales y actuales del mercurio. Todos los flujos (flechas) y acumulaciones (recuadros) están en toneladas métricas (adaptado de Lamborg et al., (2002); los autores originales señalan que el ciclo se considera variable).

452. Las impurezas de mercurio en materiales primarios y reciclados constituyen importantes contribuciones a la carga mundial de mercurio. Las medidas destinadas a reducir esas liberaciones se describen en el capítulo 8.

453. El procesado de materiales secundarios, como hierro y acero, puede ser también una importante fuente de liberaciones de mercurio y con frecuencia es necesario emplear tecnologías de control de emisiones. En este caso, el mercurio puede provenir tanto de impurezas naturales como del uso intencional de mercurio en productos o componentes de la chatarra de hierro o acero (interruptores, activadores de bolsas de aire, etc.)

454. Muchos países industrializados han adoptado estructuras legislativas para el control de emisiones, que cubren el mercurio. Las presentaciones nacionales que recibió el PNUMA para este

informe indican que la situación puede ser distinta en un número de países que están en otras condiciones; al respecto, véase el capítulo 9 y el Apéndice de este informe – “Recuento de acciones nacionales presentes y futuras, incluida la legislación, relativas al mercurio” (Overview of existing and future national actions, including legislation, relevant to mercury).

### **6.3.2 Liberaciones del uso intencional del mercurio en productos y procesos**

455. Como se describe en el capítulo 7, el mercurio se usa en muchos productos y procesos industriales. A pesar de que en las dos últimas décadas el consumo ha disminuido en muchos países industrializados, el uso intencional del mercurio en productos y procesos todavía se considera una fuente importante de mercurio en el medio ambiente. La producción primaria mundial de mercurio virgen que se tiene registrada todavía es grande si se la compara con las actuales estimaciones de las emisiones atmosféricas mundiales de mercurio.

456. Al estimar las liberaciones de mercurio al medio ambiente, suele ser difícil cuantificar las emisiones difusas que los productos que contienen mercurio generan a lo largo de su ciclo de vida. Esas fuentes no siempre se han incluido por completo en los inventarios regionales o mundiales de liberaciones de mercurio al medio ambiente. Sin embargo, algunos estudios nacionales dan una idea de las contribuciones de esta categoría de fuentes (véase más adelante).

457. Las liberaciones de mercurio procedentes del tratamiento y almacenamiento de desechos pueden ser muy difícil de estimar, pero los balances nacionales (“evaluaciones del flujo de sustancias”) pueden arrojar luz sobre algunos de los aspectos que es necesario elucidar. Se han realizado tales evaluaciones del flujo de sustancias en forma más o menos detallada, por ejemplo, en los Países Bajos, Estados Unidos y Dinamarca.

458. Asimismo, algunos trabajos de investigación realizados en Estados Unidos indican que las liberaciones que tienen lugar durante el uso normal de los productos o cuando ocurren derrames y roturas, y en el procesado y eliminación de chatarra son fuentes importantes que quizá estén subestimadas en algunos inventarios de liberaciones (Estados Unidos, comm-24-gov).

459. Gran parte del mercurio que se emplea en productos o con fines de consumo será incinerado o irá a parar a los vertederos junto con la basura recolectada. En muchas partes del mundo, se puede perder, tirar o incinerar de manera difusa e informal, directamente en el medio ambiente. Por lo tanto, en las actuales circunstancias, es de prever que una parte importante de la cantidad total de mercurio que se consume acabe en el medio ambiente, de manera bastante rápida y directa. No se ha estimado formalmente esa cantidad a escala mundial. Como se indica en la sección 6.4 sobre trayectorias, parte del mercurio utilizado, recogido y tratado en condiciones más controladas también se puede diseminar en el medio ambiente a lo largo de un período de tiempo más prolongado.

460. En la sección 6.3.4 se dan ejemplos de contribuciones cuantificadas de distintos usos intencionales a las liberaciones de mercurio de escala nacional.

### **Importancia relativa de las emisiones atmosféricas de los usos intencionales y de las impurezas**

461. Al considerar las medidas de reducción de la contaminación para elegir, conviene examinar la importancia relativa de los usos intencionales de mercurio con respecto a las impurezas de este metal en los materiales. Esto plantea ciertas dificultades, porque no todos los flujos se han registrado en detalle y, sobre todo, porque el origen del mercurio que se encuentra en el flujo de desechos no siempre se puede determinar con precisión. Sin embargo, es posible hacerse una idea aproximada de esta relación en un país, en particular cuando se han hecho análisis de flujo de sustancias en relación con el mercurio. En la tabla 6.2 figuran estimaciones aproximadas de la distribución de emisiones atmosféricas según las principales categorías de fuentes, de acuerdo con los datos presentados en esta sección. Obsérvese que no se incluyen las liberaciones al agua y al suelo, aunque pueden ser significativas. No se incluyen las cantidades de los vertederos, excepto en el caso de algunas emisiones atmosféricas de vertederos que se han registrado. Además, la metodología empleada en los inventarios puede variar según los países y no todas las emisiones se registran necesariamente en todos los casos.

462. La contribución de los usos intencionales del mercurio contenido en un número de productos de la región de Europa fue también evaluada por Munthe y Kindbom (1997). Estos autores observaron que, a mediados del decenio de 1990, tres grupos predominantes de usos intencionales del mercurio en productos<sup>6</sup> contribuyeron alrededor de un 18% a las emisiones atmosféricas totales de mercurio de esa región. No se incluyeron en la evaluación las contribuciones adicionales de las amalgamas dentales.

463. Véase asimismo en la sección 6.1 un examen de la importancia relativa de las principales categorías de fuentes y los factores que inciden en la distribución.

*Tabla 6.2 Ejemplos de estimaciones aproximadas de la importancia relativa de las principales categorías de fuentes de emisiones atmosféricas antropógenas registradas (presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov).*

<b>Importancia relativa de las categorías de fuentes de emisiones atmosféricas antropógenas registradas – Ejemplos</b>			
<b>País, año</b>	<b>% de emisiones nacionales totales registradas (estimación aproximada) *1</b>		<b>Comentarios</b>
	<b>Hg de impurezas</b>	<b>Hg de usos intencionales</b>	
EE.UU., 1994/95	60 – 90	10 – 40	34% procedente del tratamiento de desechos – sus fuentes originales no se consideran en detalle.
Reino Unido, 1997	60 – 80	20 – 40	13% procedente del tratamiento de desechos – sus fuentes originales no se consideran en detalle.
Dinamarca, 1992/93	20 – 50	50 – 80	58% procedente del tratamiento de desechos – se dispone de algunos detalles sobre las fuentes de desechos a efectos de estimación – asimismo, véase la descripción más arriba
Suecia, 1995	40 – 60	40 – 60	10% procedente del tratamiento de desechos – sus fuentes originales no se consideran en detalle.
Noruega, 1999	80 – 90	10 – 20	5% procedente del tratamiento de desechos – sus fuentes originales no se consideran en detalle.

La metodología de los inventarios varía según los países. No todas las emisiones se registran en todos los casos. Las liberaciones al agua y al suelo no se incluyen, pero pueden ser importantes. Las cantidades de los vertederos no se incluyen, excepto en el caso de algunas emisiones atmosféricas registradas procedentes de vertederos.

Nota: Las fuentes de los datos se mencionan en la tabla 6.4 de la sección 6.3.4.

464. La tabla 6.3 de la *US EPA* (1997) muestra estimaciones/proyecciones de los desechos de Estados Unidos de mercurio usado intencionalmente en productos. En comparación, el consumo declarado de mercurio en usos intencionales en Estados Unidos se estimó en 711 toneladas métricas en 1990 y 372 toneladas métricas en 1996 (Sznoppek y Goonan, 2000; equivalentes a 784 y 410 toneladas cortas respectivamente). Cabe señalar que el contenido de mercurio en los productos de desecho refleja tasas anteriores más elevadas de consumo de mercurio (véase la figura 9.2 en la sección 9.2.4 sobre Estados Unidos).

465. De acuerdo con nuevas informaciones de Estados Unidos (comm-24-gov), es posible que en la tabla 6.3 no se haya tenido en cuenta el uso de interruptores de mercurio en automóviles o que se haya subestimado la cantidad desechada en ese país. El Departamento de Protección Ambiental del estado de Maine estima que cada automóvil actualmente en funcionamiento contiene un promedio de aproximadamente 2/3 de interruptor, a razón de 0,8 gramos de mercurio en cada interruptor. Si bien es cierto que esos interruptores no suelen ir a parar a instalaciones municipales de eliminación de desechos

<sup>6</sup> Pilas, instrumentos de medición y control, y equipos eléctricos y de iluminación, que en conjunto constituían una parte importante del consumo de mercurio en productos en la década de 1990, aunque desde entonces las emisiones debidas a las pilas, en particular, se han reducido sustancialmente en algunas regiones. Las cifras de los países que se mencionan en este informe indican que la amalgama dental, en particular, aumenta considerablemente las emisiones procedentes de productos.

sólidos per se, la mayor parte son desechos domésticos y no se tienen en cuenta en los inventarios típicos de productos descartados, tales como los de la tabla 6.3.

Tabla 6.3 *Desechos de mercurio usado intencionalmente en productos, en instalaciones municipales de residuos sólidos de Estados Unidos, según estimaciones/proyecciones de 1992<sup>a</sup>, salvo indicación contraria (US EPA, 1997).*

Productos (cantidades en toneladas métricas)	1975	1980	1985	1989	1995	2000
Pilas						
Alcalinas	34,8	143,5	319,5	380,4	*	18,1 d
Óxido de mercurio	261,0	242,0	213,3	178,3	*	5,4 d *
Otras	4,3	4,1	4,1	4,7	*	0,0
Subtotal	300,1	389,6	536,9	563,4	*	23,6 d *
Iluminación eléctrica						
Lámparas fluorescentes	19,5	21,0	25,3	21,3 d	22,5 d	13,2 d
Lámparas de alta intensidad	0,3	1,0	0,6	0,7	0,9	1,1
Subtotal	19,8	22,0	25,9	22,0 d	23,4 d	14,2 d
Residuos de pinturas	33,8	24,2	28,5	16,5	2,1	0,5
Termómetros para medir la fiebre	21,0	23,3	29,5	14,8	15,3	15,2
Termostatos	6,2	6,3	8,6	10,2	7,3	9,3
Pigmentos	24,9	20,9	22,9	9,1	2,7	1,4
Usos odontológicos	8,8	6,4	5,6	3,6	2,6	2,1
Revestimiento especial del papel	0,5	1,1	1,6	0,9	0,0	0,0
Interruptores de luz de mercurio	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4 d	0,3 d
Pilas para cargadores (film-packs)	2,1	2,4	2,5	0,0	0,0	0,0
Total de desechos	417,7	496,6	662,5	640,9 d	215,6 d	145,2 d

Notas:

<sup>a</sup> US EPA, 1992 (excepto las estimaciones de lámparas fluorescentes).

<sup>b</sup> Desechos antes de la recuperación.

<sup>d</sup> Nueva información de Estados Unidos (comm-24-gov, 2002).

\* A partir de 1992, varios estados han restringido el contenido de mercurio de las pilas alcalinas y/o prohibido la venta de pilas y baterías de óxido de mercurio. La legislación federal que limita el uso de mercurio en las pilas entró en vigor en mayo de 1996. La industria de las pilas ha eliminado el mercurio como aditivo intencional en las pilas alcalinas, salvo en las pilas botón. Si bien no se disponía de estimaciones actuales de las liberaciones de mercurio de las pilas para esos años, de acuerdo con la asociación nacional de fabricantes de material eléctrico (*National Electrical Manufacturers Association, NEMA*), la industria estadounidense de las pilas en su conjunto utilizó sólo unas 6,6 toneladas de mercurio en 1994 (NEMA, 1996).

### 6.3.3 Movilización de mercurio debido a cambios en el uso de las tierras

466. En algunas condiciones, los cambios antropógenos en el uso de las tierras pueden producir una movilización sustancial del mercurio ya presente en el medio ambiente (procedente de fuentes naturales y/o antropógenas). Por ejemplo, en algunos entornos, las modificaciones antropógenas, entre ellas la labranza de tierras, las talas exhaustivas recientes y los embalses de agua (presas hidroeléctricas, acuicultura, riego), pueden aumentar considerablemente la liberación de mercurio a los sistemas acuáticos y la bioacumulación de este metal en los organismos. Cada vez hay más pruebas de que los suelos de las cuencas hidrográficas forestadas contienen reservas considerables tanto de metilmercurio como de formas inorgánicas divalentes. En América del Norte y Europa septentrional, aumentan gradualmente los indicios de que las perturbaciones del terreno son un factor en la movilización y



transporte de compuestos inorgánicos y metilmercurio almacenados en las cuencas hidrográficas y, al parecer, también un factor en la producción de metilmercurio. Las investigaciones realizadas en relación con los embalses hidroeléctricos revelaron la importancia de comprender los fenómenos de transporte que tienen que ver con los suelos inundados. La hidrología a escala de cuenca está surgiendo como una variable explicativa cada vez más importante (comentarios de Canadá; comm-20-gov).

#### **6.3.4 Ejemplos de liberaciones nacionales de mercurio distribuidas por tipos de fuente**

467. Como se mencionó en párrafos anteriores, las contribuciones relativas a las liberaciones de mercurio de diferentes tipos de fuente varían según los países, dependiendo de varios factores. Para ilustrar las posibles cargas de cada tipo de fuente, las tablas 6.4 y 6.7 presentan ejemplos de distribuciones de liberaciones al aire, agua, suelo y vertederos en un número de países (reunidos en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov), excepto los datos de México, que se añaden aquí).

468. Debe prestarse atención a las diferencias, a menudo considerables, que existen entre los países, las cuales tienen que ver a su vez con diferencias en las fuentes, los equipos o las normas de operaciones de depuración (por ejemplo, de los gases de combustión), así como diferencias en el año en que se hizo la investigación y la metodología que se utilizó. Si bien sería conveniente realizar una investigación y descripción más detalladas del contexto y calidad de los datos presentados, no ha sido posible hacerlo para este informe, debido principalmente a limitaciones de tiempo y recursos. Por ende, no corresponde hacer comparaciones directas entre los países.

469. Los países mencionados en las tres tablas que figuran a continuación se eligieron exclusivamente a título ilustrativo. Varios otros países recogen y publican periódicamente datos sobre liberaciones y otros países presentaron conjuntos de datos. Esa información se puede encontrar en las presentaciones y comentarios nacionales, que aparecen en la página web de la Evaluación Mundial sobre el Mercurio: [www.chem.unep.ch/mercury](http://www.chem.unep.ch/mercury).

470. Una importante fuente de liberaciones de mercurio, que no se incluye en las tablas de esta sección, pero que existe en un número cada vez mayor de países es el uso de mercurio en la extracción de oro y plata. Según la información disponible, que probablemente sea incompleta, se ha estimado que en la actualidad la aportación mundial anual de mercurio al medio ambiente ocasionada por la explotación aurífera puede ser de más de 500 toneladas métricas, de las cuales dos tercios se emiten a la atmósfera y el otro tercio a suelos y aguas (Lacerda, 1997; MMSD, 2002). De modo semejante, en los países donde todavía se extrae mercurio primario, la minería posiblemente representa también una fuente considerable de liberaciones de mercurio.

471. Cabe señalar que existen relativamente pocos datos sobre las liberaciones de mercurio del ciclo de vida total del petróleo y el gas natural (desde la extracción hasta la combustión o eliminación). Ambos se consumen en grandes cantidades en el mundo. Se están realizando en Estados Unidos otros trabajos de investigación sobre esta importante cuestión, sobre los cuales está previsto un informe para 2003 (Estados Unidos, comm-24-gov).

472. Tailandia ha descrito sus esfuerzos en la gestión de las liberaciones al medio acuático de mercurio procedente de la extracción de petróleo y gas natural (presentación de Tailandia, sub53gov).

#### **Emisiones a la atmósfera**

473. Además de las fuentes mencionadas, ciertas actividades industriales, el tratamiento y eliminación de desechos y, en general, los procesos de combustión y producción de energía a partir de combustibles fósiles constituyen otras fuentes de emisiones atmosféricas.

474. La quema de desechos es una fuente importante de liberación de mercurio al medio ambiente. Téngase presente que ese mercurio es el que está contenido en los productos que constituyen los

desechos, de forma tanto intencional como no intencional (en este último caso, como impureza natural o como contaminante antropógeno contenido en cantidades mínimas en los materiales utilizados).

475. Con respecto a la cremación, cabe señalar que los crematorios en general no están equipados con instalaciones de purificación de gases de combustión para la eliminación de mercurio. Las emisiones de las cremaciones proceden principalmente del mercurio de las amalgamas dentales.

Tabla 6.4 Ejemplos de emisiones atmosféricas de mercurio \*1

Todas las cifras en toneladas métricas/año (excepto per cápita)	EE.UU.*7 1994-95	R.U. 1997	Finlandia 1997	Dinamarca 1992-93	Suecia 1995	Noruega 1999	México 1999
<b>Usos intencionales – Industria manufacturera</b>		1,1*8	*4				
Cloro-álcali	6,5			0,01	0,12		4,9
Fabricación de instrumentos	0,5						
Producción secundaria de Hg	0,4						
Aparatos eléctricos	0,3			0,01			
Pilas	<0,1						
Producción primaria de Hg	?						9,7
<b>Usos intencionales – Utilización de productos</b>							
Rotura de lámparas	1,4	<0,1				0,02	0,23
Uso de laboratorio, instrumentos	1,0					0,02	0,02
Preparaciones dentales	0,6	0,3					0,38
<b>Tratamiento y eliminación de desechos</b>			0,05				
Incineración de desechos *2	48,8	1,3		1,26 *5	0,09	0,05	0,03
Cremación	<0,1	1,3		0,1	0,28	0,07	
Vertederos	<0,1	0,4					
Otros – reciclado de lámparas, etc.	<0,1			0,2	0,01		
<b>Impurezas de Hg movilizadas – Industria manufacturera</b>			0,09 *4				
Cemento	4,4			0,14		0,01	0,01
Pasta y papel	1,7					0,005	0,02
Metales no ferrosos	<0,2	3,2			0,07	0,16	13
Hierro, acero		0,8		0,07	0,11	0,1	0,09
Otros – negro de carbono, cal, etc.	0,4?					0,005	0,76
<b>Impurezas de Hg movilizadas – Combustión</b>		4,2	0,49		0,21	0,64	2,2 *6
Calderas a carbón (servicios públicos, industria)	66,9			0,35			
Petróleo y gas natural	10,2			0,04			
Calderas a leña	0,2						
Otros (energía geotérmica)	1,3						
<b>Total (redondeado)</b>	144 *7	13	0,62	2,2	0,9	1,1	31
<b>Per cápita (gramos) *3</b>	0,5	0,2	0,1	0,4	0,1	0,3	0,3

Notas:

- 1 Procedente de US EPA (1997); OSPAR (2000); Maag *et al.* (1996); Norwegian Pollution Control Authority (2001); Finnish Environment Institute (1999); Mukherjee *et al.* (2000); presentación de México y KEMI (1998). La repartición de las fuentes en intencionales y no intencionales se hizo en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov), excepto en lo relativo a las cifras de México.
- 2 Cubre la incineración de desechos municipales, desechos médicos, desechos peligrosos y lodos de depuración.
- 3 Población supuesta: Estados Unidos, ~ 264 millones; Reino Unido, ~ 59 millones; Dinamarca, ~ 5,3 millones; Noruega, ~ 4,4 millones; Suecia, ~ 8,5 millones; Finlandia, ~ 5,2 millones; México, ~ 99 millones.
- 4 En la referencia (Mukherjee *et al.*, 2000), las emisiones de la industria manufacturera están reunidas e incluyen tanto el mercurio procedente de la movilización no intencional como de usos intencionales. Sin embargo, hay indicaciones de que la primera que se menciona es la categoría de fuente predominante en la industria manufacturera. Por lo tanto, las emisiones totales de esa industria se mencionan bajo “Impurezas de Hg movilizadas – Industria manufacturera”.
- 5 La cifra relativamente elevada de la incineración de desechos en Dinamarca en 1992-93 se produjo debido a la generalización de la incineración en el tratamiento de desechos sólidos municipales en ese país. En 1993, allí se incineraba alrededor del 78% de los desechos sólidos municipales y sólo el 86% de las instalaciones de incineración estaban provistas de equipos para la purificación de gases de combustión ácidos (Maag *et al.*, 1996).

- 6 Categorizadas en la presentación de México del modo siguiente: plantas termoeléctricas (0,13 toneladas métricas/año), centrales térmicas a carbón (0,79), calderas comerciales industriales (0,095) quema de leña en residencias (1,2 toneladas métricas/año).
- 7 Estados Unidos (en comm-24-gov) proporcionó información actualizada sobre las emisiones nacionales procedentes de ciertas categorías de fuentes y los totales (las emisiones de 1996 en toneladas métricas): industria de cloro-álcali, 9; rotura de lámparas, 1; preparaciones dentales, 0,7; incineración de desechos, 74; vertederos, 0,2; cemento, 4; pasta y papel, 2; calderas a carbón, 55 (dato incierto); petróleo y gas natural, 1; y total de emisiones cuantificadas para 1996, 170. Para 1999, las emisiones cuantificadas totales se estimaron en 125 toneladas métricas.
- 8 De acuerdo con *OSPAR* (2001b, según citado por Greenpeace), la industria de cloro-álcali del Reino Unido informó de liberaciones de mercurio de 1,4 toneladas métricas en 1999.

### Liberaciones a medios acuáticos

476. Con respecto a las liberaciones al agua, una fuente predominante en los países occidentales suelen ser los desagües de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, que pueden contener mercurio procedente, por ejemplo, de clínicas odontológicas, diversos aparatos de medición y control, y laboratorios (usos intencionales). En algunos países, las descargas directas de aguas residuales que contienen mercurio pueden ser relativamente más grandes. En la tabla siguiente, no figuran varias otras fuentes de liberación de mercurio a medios acuáticos y es posible que las cantidades no reflejen la situación que reina en países con controles menos desarrollados. Eso puede ocurrir, en particular, si un país tiene grandes ramos de la industria que utilizan mercurio, como en la producción de cloro-álcali con celdas de ese metal.

477. Los datos de Noruega indican que las actividades petrolíferas en el mar pueden ser una fuente considerable de liberaciones al medio marino. Una liberación similar puede tener lugar en aguas de Dinamarca (y posiblemente en otros lugares), pero hasta ahora no ha sido cuantificada.

Tabla 6.5 Ejemplos de liberaciones de mercurio a medios acuáticos \*1

	<b>Dinamarca 1992-93 toneladas métricas/año</b>	<b>Suecia 1995 toneladas métricas/año</b>	<b>Noruega 1998-1999 toneladas métricas/año</b>
<b>Usos intencionales – Industria manufacturera</b> Cloro-álcali	<0,001		
<b>Usos intencionales – Utilización de productos</b>			0,05
<b>Tratamiento y eliminación de desechos</b> Tratamiento de aguas residuales municipales Otros	0,25 2)	0,53	0,06 0,04
<b>Impurezas de Hg movilizadas – Industria manufacturera</b> Metales no ferrosos Otros – refinerías, off-shore, etc.		0,02 0,02	0,03 0,17
<b>Total</b>	0,25	0,74	0,35
<b>Per cápita (g) *2</b>	0,05	0,09	0,08

Notas: 1 Procedente de Maag *et al.* (1996), *Norwegian Pollution Control Authority* (2001) y *KEMI* (1998). La repartición de las fuentes en intencionales y no intencionales se hizo en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov).

2 Población supuesta: Dinamarca, ~ 5,3 millones; Noruega, ~ 4,4 millones; Suecia, ~ 8,5 millones.

### Liberaciones al suelo

478. En los ejemplos de los países nórdicos, las fuentes predominantes de las liberaciones al suelo al parecer son:

- los cementerios, debido principalmente al uso de mercurio en las amalgamas dentales, y
- la aplicación de lodos de depuración municipales en las tierras (mercurio procedente de usos intencionales, como se explicó).

Tabla 6.6 Ejemplos de liberaciones de mercurio al suelo \*1

	Dinamarca 1992-93 toneladas métricas/año	Noruega 1999 toneladas métricas/año
<b>Usos intencionales – Industria manufacturera</b>		
<b>Usos intencionales – Utilización de productos</b>		
Cementerios (amalgamas dentales)	0,05	0,17
Otros		?
<b>Tratamiento y eliminación de desechos</b>		
Lodos de depuración	0,14	0,14
Otros	?	
<b>Impurezas de Hg movilizadas – Utilización de productos</b>		
Fertilizante/cal – fines agrícolas	<0,1	0,003
<b>Total</b>	0,25?	0,31
<b>Per cápita (g) *2</b>	0,05	0,07

Notas: Procedente de Maag *et al.* (1996) y la *Norwegian Pollution Control Authority* (2001). La repartición de las fuentes en intencionales o no intencionales es responsabilidad exclusiva de los autores de este informe.  
Población supuesta: Dinamarca, ~ 5,3 millones; Noruega, ~ 4,4 millones.

### 6.3.5 Vertederos

479. Además de las liberaciones directas al medio ambiente que se indican más arriba, cantidades considerables de mercurio se descargan a los vertederos sanitarios, ya sea como desechos de la industria manufacturera y desechos de técnicas de fin de ciclo, o bien, incluido en productos eliminados como desechos sólidos municipales o desechos peligrosos.

480. La tabla 6.7 presenta información sobre cantidades de mercurio descargadas en vertederos en un número de países. Las discrepancias observadas entre los países se pueden explicar por:

- diferencias en las actividades; por ejemplo, existencia o inexistencia de explotaciones mineras y extracción de metales en el país;
- diferencias en las políticas ambientales; por ejemplo, en Finlandia, se saca el mercurio de los residuos de la explotación del zinc, mientras que en Noruega, esos residuos se descargan en vertederos;
- diferencias en las fuentes que se incluyen en los inventarios.

Tabla 6.7 Mercurio descargado en vertederos o recogido como desecho peligroso (datos reunidos en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov) \*1.

País	Descargado en vertederos		Comentarios
	Total de toneladas métricas/año	Per cápita g/año *2	
R.U. ~1990	41	0,69	
Dinamarca 1997	2,5	0,47	No incluyendo desechos exportados para ser eliminados en forma especial en otros países
Finlandia ~1995	0,9	0,2	
Noruega 1998	177	40	Principalmente residuos industriales de la extracción del zinc. Las cifras son de 1993. En 2000, la cantidad total era del orden de las 35 toneladas métricas/año. *3
Suecia ~1995	42	4,9	Principalmente residuos de minería
EE.UU. 1996	295	1,1	Incluyendo la aplicación en tierras

Notas: 1 Referencias originales: Sznopce y Goonan 2000, OSPAR 2000, Endre *et al.*, 1999.

- 2 Población supuesta: Estados Unidos, ~ 264 millones; Reino Unido, ~ 59 millones; Dinamarca, ~ 5,3 millones; Finlandia, ~ 4,8 millones; Noruega, ~ 4,4 millones; Suecia, ~ 8,5 millones.
- 3 Referencia: *Norwegian Pollution Control Authority* (2001).

### 6.3.6 Estimaciones de liberaciones mundiales y regionales

481. Las liberaciones mundiales totales de mercurio de fuentes antropógenas y naturales no se conocen con gran precisión. Sin embargo, se han hecho varios intentos para cuantificar esos totales. La tabla 6.8 muestra los totales mundiales estimados por diferentes autores. Como se puede ver, las cifras son relativamente inciertas, lo cual es razonable dada la complejidad de la cuantificación. Como se mencionó en la sección 6.3.7, en general no ha sido posible incluir en las estimaciones todas las contribuciones importantes a las liberaciones mundiales. La tabla 6.9 da una idea general de los tipos de fuente que se pueden incluir y las que se omiten con frecuencia.

Tabla 6.8 *Estimaciones de las liberaciones totales de mercurio al medio ambiente mundial (tabla presentada por la OCDE, 1994, a las que aquí se añaden estimaciones de Mason et al. (1994), Pirrone et al. (1996) y Lamborg et al. (2002)).*

Proceso	Lindquist et al. 1984	Nriagu y Pacyna 1988, Nriagu 1989	Fitzgerald 1986	Lindquist et al. 1991	Mason et al., 1994 *1	Pirrone et al., 1996	Lamborg et al., 2002 *2
Liberaciones antropógenas	2000-10.000	3560 (910-6200)	2000	4500 (3000-6000)	5550 *1	2200	3000 *2
Liberaciones naturales	<15000	2500 (100-4900)	3000-4000	3000 (2000-9000)	1650	2700	1400
Liberaciones totales presentes	2000-<25.000	6060 (1010-11.100)	5000-6000	7500 (5000-15.000)	7200	4900	4400

- Notas: 1 Liberaciones antropógenas y totales: Las cifras incluyen una estimación de la reemisión (aumento neto del escape procedente de los océanos) de 1.400 toneladas métricas/año, originada en liberaciones antropógenas anteriores (por lo tanto, en este estudio las nuevas liberaciones antropógenas se estiman en 4.150 toneladas métricas/año).
- 2 Liberaciones antropógenas y totales: Las cifras incluyen una estimación de la reemisión (aumento neto del escape procedente de los océanos) de 400 toneladas métricas/año, originada en liberaciones antropógenas anteriores (por lo tanto, en este estudio las nuevas liberaciones antropógenas se estiman en 2.600 toneladas métricas/año).

Tabla 6.9 *Estimaciones de las liberaciones de mercurio emitidas a la atmósfera, suelo y agua en 1983 en todo el mundo, con indicación de las contribuciones cuantificadas y omitidas (en toneladas métricas por año); datos procedentes de Nriagu y Pacyna (1988) y Nriagu (1989), presentados por la OCDE (1994). En este informe, se ha corregido ligeramente la presentación de las sumas y añadido los signos de interrogación.*

Categoría de fuente	Atmósfera *		Agua		Suelo **	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
Combustión de carbón	650	3500	0	3600	370	4800
Producción de metales no ferrosos	45	220	0	40	0	80
Incineración de residuos Municipales Lodos de depuración	140	2100	No hay estimación		No hay estimación	
Aguas residuales	No corresponde		0	600	10	800
Quema de leña	60	300	No hay estimación		No hay estimación	
Extracción de minerales metálicos	¿Insignificante?		0	150	No hay estimación	
Residuos urbanos	No hay estimación.		No hay estimación		0	260
Desperdicio en la producción comercial	No hay estimación		No hay estimación		550	820
Procesos de fabricación	No hay estimación.		20	2300	No hay estimación	
Deposición atmosférica	No corresponde		220	1800	630	4300
Producción y uso de fertilizantes fosfatados	Insignificante		No hay estimación		No hay estimación	
Desechos agrícolas	No hay estimación		No hay estimación		0	1700
Desechos de la explotación forestal y madera	No hay estimación		No hay estimación		0	2200
Vertidos de lodos de depuración	No corresponde		10	310	No corresponde	

Categoría de fuente	Atmósfera *		Agua		Suelo **	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
Residuos de minería	No hay estimación		No hay estimación		550	2800
Escorias y residuos de fundición	No hay estimación		No hay estimación		50	280
Total, aportaciones antropógenas cuantificadas, redondeadas	900	6200+?	300	8800+?	2200	18000+?
Media	3560+?		4600+?		10100+?	
Naturales	100	4900	No hay estimación		No hay estimación	
Media	2500					

Notas: +? Significa que los totales reales pueden ser más grandes, ya que las aportaciones indicadas como “No hay estimación” no se incluyen en los totales presentados.

Notas en OECD (1994):

\* Contribuciones atmosféricas insignificantes de la combustión de petróleo, producción de zinc y cadmio, producción secundaria de metales no ferrosos, manufactura del hierro y el acero, producción de cemento, y fuentes móviles (Comentario de los editores de este informe: Esas aportaciones en realidad pueden ser de interés, como se explica en otra parte de este capítulo).

\*\* Inclusive vertederos.

482. En fecha más reciente, se hicieron varios inventarios de liberaciones. En general, sólo incluyen fuentes importantes de liberaciones atmosféricas – procedentes principalmente de impurezas de mercurio en materiales de gran volumen y, en menor medida, del ciclo de vida del mercurio en usos intencionales. Los totales de esos estudios se presentan en la tabla 6.10 junto con los totales de la tabla 6.9.

Tabla 6.10 Estimaciones más recientes de liberaciones atmosféricas de mercurio emitidas por distintas fuentes antropógenas importantes, en comparación con los totales de la tabla 6.9 (toneladas métricas/año).

Año	Atmósfera	Agua	Suelo	Referencia
1983				Nriagu y Pacyna, 1988
Intervalo	900 - 6200+?	300 - 8800+?	2200 - 18000+?	(ver tabla anterior)
Media	3560+?	4600+?	10100+?	
1990 <b>*1,3</b>				Pacyna y Pacyna, 1996
Intervalo	1300 – 2100	-	-	
La mejor estimación	1900			
1992	2200	-	-	Pirrone <i>et al.</i> , 1996
1995 <b>*2,3</b>	1900	-	-	Pirrone <i>et al.</i> , 2001 – incluyendo a Pacyna

Notas: +? Significa que los totales reales pueden ser más grandes, ya que las aportaciones indicadas como “No hay estimación” no se incluyen en los totales presentados.

- 1 Comprende también 172 toneladas métricas de liberaciones de mercurio procedentes de la producción de cloro y soda cáustica, y otras fuentes más pequeñas (Pirrone *et al.*, 2001).
- 2 No incluyendo liberaciones producidas por la extracción de oro (estimadas por Lacerda (1997) en unas 460 toneladas métricas por año en torno a 1990, la mayoría de ellas a la atmósfera). Asimismo, no incluyendo liberaciones de la producción de cloro-álcali y “otras fuentes”. Los autores del inventario afirman que las liberaciones de la incineración de desechos probablemente hayan sido subestimadas debido a la falta de datos nacionales sobre desechos (Pirrone *et al.*, 2001).
- 3 La incertidumbre del total es significativa – los autores mencionan que a la estimación del mercurio en Europa se le puede asignar una precisión de menos del 50% (Pirrone *et al.*, 2001). Lo más probable es que la imprecisión sea más alta en grandes regiones del mundo.

483. En la tabla 6.11, los resultados del inventario de emisiones atmosféricas mundiales de 1995 se presentan por tipos de fuentes incluidas en la cuantificación, y por continentes (según Pirrone *et al.*, 2001). En este informe se marca en negrita la contribución más grande dentro de cada tipo de fuentes:

484. Pirrone *et al.* (2001) hacen los siguientes comentarios sobre las tendencias de la distribución geográfica de las emisiones:

“En 1995 hubo importantes cambios en las emisiones en comparación con 1990, en lo que tiene que ver con la ubicación de las regiones que más contribuyen al estudio mundial de las emisiones del elemento. Mientras que las emisiones de mercurio en Europa y América del Norte disminuyeron de forma considerable durante el período de 1990 a 1995, las emisiones de Asia, en particular China e India, han aumentado en forma significativa. Las fuentes asiáticas contribuyeron alrededor del 30% a las emisiones totales de mercurio en 1990, en comparación con el 56% en 1995. En China se estimó un aumento de más de 250 toneladas métricas entre los años 1990 y 1995. El aumento de las emisiones de mercurio en China de 1990 a 1995 está claramente relacionado con el aumento de la combustión de carbón en el país. El aumento de las emisiones de mercurio debido al aumento de la combustión de carbón fue mayor que la ligera reducción de la emisión de contaminantes atmosféricos que se registró en el país gracias a la instalación de dispositivos muy eficientes de control de emisiones a mediados de la década de 1990.

La disminución de las emisiones de mercurio en Europa occidental, Estados Unidos y Canadá se puede explicar por la instalación adicional de equipos de control de emisiones, en particular, diversas tecnologías de desulfuración de gases de combustión, que ya se mencionó. Las temperaturas relativamente bajas observadas en los sistemas de depuradores húmedos permiten que muchos de los elementos traza más volátiles se condensan a partir de la fase gaseosa y sean eliminados de los gases de chimenea.

La disminución de las emisiones de mercurio de las fuentes de combustión, así como otras fuentes industriales en Europa central y oriental entre 1990 y 1995 también fue causada por una disminución general de las actividades industriales y la consecuente baja del consumo de materias primas”.

Tabla 6.11 *Estimaciones de liberaciones atmosféricas mundiales de mercurio emitidas por distintas fuentes antropógenas importantes en 1995 (toneladas métricas/año; Pirrone et al., 1996; 2001).*

Continentes	Combustión estacionaria	Producción de metales no ferrosos	Producción de hierro y acero en lingotes	Producción de cemento	Eliminación de desechos *3	Suma, fuentes contabilizadas
Europa	185,5	15,4	10,2	26,2	12,4	249,7
África	197,0	7,9	0,5	5,2		210,6
Asia	<b>860,4</b>	<b>87,4</b>	<b>12,1</b>	<b>81,8</b>	32,6	1074,3
América del Norte	104,8	25,1	4,6	12,9	<b>66,1</b>	213,5
América del Sur	26,9	25,4	1,4	5,5		59,2
Australia y Oceanía	99,9	4,4	0,3	0,8	0,1	105,5
Suma, fuentes contabilizadas, 1995 *4	1474,5	165,6	29,1	132,4	111,2	1912,8
Suma, fuentes contabilizadas, 1990 *1	1295,1	394,4	28,4	114,5	139,0	2143,1 *2

Notas:

- 1 Estimaciones de valores máximos, que los autores del inventario consideran próximas a los valores de la mejor estimación. Los totales representan la suma de las fuentes mencionadas en esta tabla, no todas las fuentes conocidas.
- 2 La estimación de la emisión total para 1990 comprende también 171,7 toneladas métricas de la producción de cloro-álcali y otras fuentes “menos importantes”.
- 3 Los autores del inventario la consideran subestimada; véanse las notas de la tabla 6.9.
- 4 No incluye la extracción de oro, la producción de cloro-álcali ni “otras fuentes”; véanse las notas de la tabla 6.9.

485. Para más información acerca de las tecnologías de control de emisiones y eficiencias, véase la sección 8.3.

486. La figura 6.4 ilustra la distribución geográfica de las emisiones atmosféricas de 1990 de fuentes importantes. Las designaciones de la figura están asociadas con incertidumbres y no todos los tipos de fuente están incluidos. Sin embargo, la figura es una buena representación del carácter global del problema de la contaminación con mercurio.

### 6.3.7 Cuantificación de las liberaciones de mercurio

487. Se debe tener presente que, en casi todos los intentos que se hagan para cuantificar las liberaciones antropógenas al medio ambiente, habrá una tendencia – en principio - a subestimar las liberaciones totales con respecto a las reales. La razón es que, si bien es posible – en principio- tanto sobreestimar como subestimar las contribuciones de cada tipo de fuente realmente cuantificado, rara vez se cuantifican las contribuciones de todos los tipos de fuente pertinentes. A menudo se necesitarán mayores recursos para recopilar los datos necesarios para cuantificar liberaciones de tipos de fuente menos homogéneos.

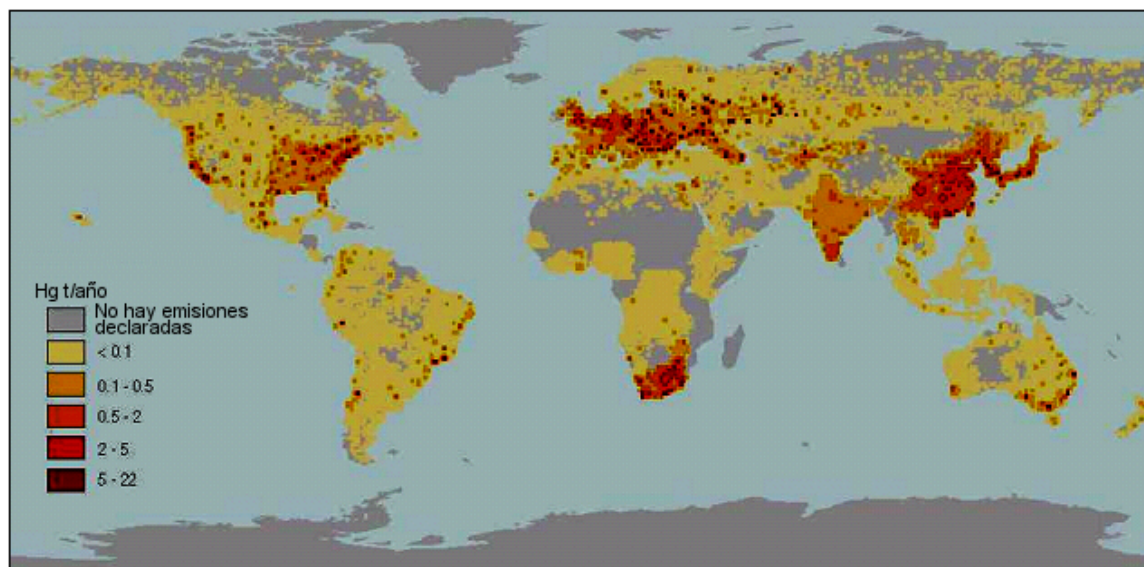


Figura 6.4 Distribución espacial de emisiones atmosféricas mundiales de mercurio con una cuadrícula de 1 x 1 grados. Fuentes de datos: J. Pacyna, comunicación personal; Centro Canadiense de Interpretación de Emisiones Mundiales (Canadian Global Emissions Interpretation Centre; CGEIC), presentado por AMAP (1998). Figura original presentada por gentileza de AMAP, Noruega.

488. Los tipos de liberaciones, que a menudo no se incluyen en los inventarios globales o se incluyen con mayor grado de incertidumbre, son:

- Liberaciones a medios acuáticos, directamente de la industria y los sistemas públicos de aguas residuales;
- Liberaciones difusas procedentes de desechos no recolectados que contienen productos y materiales con mercurio;
- Liberaciones difusas procedentes de desechos incinerados de manera informal;
- Liberaciones difusas procedentes de vertederos informales no protegidos;
- Evaporación de mercurio de vertederos controlados o informales;
- Liberaciones (a la atmósfera, agua y suelo) procedentes de fuentes puntuales industriales más pequeñas;
- Liberaciones procedentes de actividades de extracción de oro artesanales o de pequeña escala;
- Liberaciones de desechos provenientes de técnicas de fin de ciclo.



489. Uno de los métodos para describir de forma más completa las liberaciones y trayectorias de sustancias como el mercurio en la sociedad, siempre que exista o se pueda producir un conjunto básico de datos, podría ser un enfoque de balance de masas como los análisis nacionales de flujo de sustancias (por ejemplo, los descritos por Hansen y Lassen, 2000), en que las estimaciones de las liberaciones se evalúan en comparación con las aportaciones a la economía.

490. Existen inventarios nacionales y regionales de emisiones atmosféricas en los países europeos, Estados Unidos, Canadá y posiblemente algunos otros países (véase un panorama general de países europeos en Pirrone *et al.*, 2001, capítulo 2). Varias presentaciones gubernamentales e intergubernamentales hechas al PNUMA contienen datos sobre estimaciones de emisiones atmosféricas nacionales y regionales. Esa información posiblemente pueda contribuir al conocimiento de los patrones de las liberaciones antropógenas en el marco de un estudio más detallado. Sin embargo, ello no se ha podido lograr en el plazo y con los recursos disponibles en esta etapa del proceso de evaluación del mercurio por el PNUMA.

## **6.4 Trayectorias del mercurio hacia el medio ambiente y dentro del medio ambiente**

491. El objeto de esta sección es dar un panorama general de los modos en que el mercurio movilizado por los seres humanos se libera al medio ambiente y la manera en que se distribuye, redistribuye y almacena en y entre los compartimentos ambientales. En los capítulos 4 y 5 se describen otras trayectorias que conducen a efectos perjudiciales en los seres humanos y el medio ambiente.

### **6.4.1 El mercurio perdura en el medio ambiente**

492. Un hecho fundamental para comprender las trayectorias del mercurio en la sociedad y el medio ambiente es que se trata de un elemento y, por lo tanto, no se puede descomponer ni degradar en sustancias inocuas. Como se explicó en párrafos anteriores, el mercurio puede cambiar de estado y especie en el curso de su ciclo, pero la forma más simple es el mercurio elemental, que ya en sí mismo es perjudicial para los seres humanos y el medio ambiente. Eso significa que, una vez que las actividades humanas han puesto en circulación el mercurio en la biosfera, éste no “desaparece” de nuevo en lapsos de duración comparable a la vida humana.

### **6.4.2 Destino del mercurio introducido en la sociedad por usos intencionales**

493. A pesar de que se ha reducido mucho el uso del mercurio en algunas regiones del mundo, el consumo mundial de mercurio para usos intencionales en productos y procesos todavía es considerable. Al parecer, las liberaciones al medio ambiente procedentes de esos usos suelen subestimarse, lo más probable debido a la complejidad de tal tarea y a los mayores recursos de investigación que se necesitan para cumplirla.

494. Gran parte del mercurio que se consume y usa en productos irá a parar a vertederos con los desechos recolectados, o se perderá, tirará o incinerará de manera difusa e informal directamente en el ambiente. Una parte importante se supone que acabará en el medio ambiente de manera bastante directa y rápida. Es difícil estimar esas cantidades a escala mundial, aunque es posible hacer estimaciones aproximadas si se cuenta con recursos suficientes. Como se indica más adelante, el mercurio que se usa, recoge y trata en condiciones más controladas puede diseminarse parcialmente en el medio ambiente a lo largo de un período de tiempo más prolongado.

495. En algunas partes del mundo, la recolección de residuos es informal, ineficiente o inexistente. En tales casos, el mercurio que se encuentra en los desechos se diseminará en forma difusa en el medio ambiente, se incinerará en condiciones informales o se eliminará en vertederos no reglamentados sin ninguna protección contra la contaminación del suelo y las aguas subterráneas locales.

496. En partes del mundo que cuentan con una recolección y eliminación de residuos mejor reglamentada, los vertederos a menudo están controlados y equipados con membranas para recoger el

agua (“lixiviado”) que pasa a través de los residuos acumulados y con instalaciones para purificar ese lixiviado. Al finalizar la explotación del vertedero, los residuos suelen cubrirse con tierra y vegetación. En esos casos, la mayor parte del mercurio normalmente será retenido por decenios o siglos en los desechos almacenados, ya que las cantidades que se separan por lixiviación junto con el agua o que se evaporan a la atmósfera suelen considerarse mínimas en las primeras etapas de la existencia del vertedero (para información sobre vaporización, véase más adelante). Por otra parte, la lixiviación y evaporación de mercurio proseguirá durante decenios, quizá siglos, y exigirá un tratamiento continuo del agua de lixiviación. Si ese tratamiento se hace en el sistema general de tratamiento de aguas residuales (procedimiento normal), la mayor parte del mercurio lixiviado irá a parar a los lodos de depuración, que a veces se esparcen como fertilizante en tierras de labranza y, por ende, se añadirá al mercurio liberado al medio ambiente. O bien, el contenido de mercurio impedirá que los lodos se utilicen de ese modo y, por lo tanto, éstos se incinerarán, depositarán o tratarán de alguna otra manera. A largo plazo (siglos, milenios), el destino del mercurio en vertederos superficiales normales no se puede considerar bien definido. ¿Podemos esperar que la purificación del lixiviado continúe durante siglos? ¿Los antiguos vertederos situados cerca de zonas urbanas se volverán un emplazamiento atrayente para proyectos de construcción y urbanización y, por lo tanto, serán objeto de excavaciones (situación ya bastante común)? En última instancia, ¿en qué momento los procesos geológicos y climáticos vendrán a perturbar la estanqueidad de los vertederos, permitiendo posiblemente la diseminación del mercurio en una gran zona? En las condiciones nórdicas, por ejemplo, es posible que ello ocurra (época glacial); la cuestión es cuándo.

497. Algunos países dependen de la incineración controlada de residuos, que reduce su volumen y aprovecha la energía de los materiales de desecho. Debido a su bajo punto de ebullición, la mayor parte del mercurio se libera térmicamente durante la combustión y se emite directamente a la atmósfera a menos que el gas de chimenea se filtre con eficacia. En algunos países industrializados, se han mejorado las instalaciones de filtración de los incineradores de desechos desde hace uno o dos decenios, lo cual también se refleja en la disminución de las emisiones de mercurio (AMAP, 2000). En general, la filtración sólo retiene alrededor del 35-85% del mercurio (Pirrone *et al.*, 2001); parte del éste todavía se emite directamente al medio ambiente. Sin embargo, la inyección de carbono seguida de filtración puede aumentar considerablemente la tasa de retención. Una retención de mercurio próxima a 100% no es normal (véase la sección 8.3). El mercurio eliminado del gas de chimenea se retiene en los residuos de incineración y, en algunos tipos de tecnologías de filtración, en los residuos sólidos del tratamiento de aguas residuales (del proceso de lavado de gases). Esos residuos se almacenan en vertederos con las consecuencias descritas en párrafos precedentes, o bien, dependiendo de su contenido de contaminantes, se usan para fines de construcción especiales (lecho de caminos u obras similares). En algunos casos, esos residuos sólidos se almacenan en depósitos especiales para desechos peligrosos, que se protegen de forma suplementaria con membranas que eliminan o reducen la evaporación y lixiviación a partir de los desechos.

498. Como se mencionó anteriormente, muchos países hacen un esfuerzo adicional para recolectar aparte los productos que tienen un contenido elevado de mercurio, separándolos del flujo de desechos. Sin embargo, es difícil alcanzar índices de recolección elevados, sobre todo cuando son los consumidores quienes tienen que hacer la separación. Para que ésta sea eficaz, es necesario que los consumidores estén muy bien informados y motivados. Debe darse preferencia al sistema de separación más simple posible que cumpla los requisitos. Sea cual sea el sistema utilizado, la recolección y el tratamiento separados suponen importantes costos suplementarios para la sociedad.

499. Asimismo, se sabe que el mercurio se evapora de los vertederos. Por ejemplo, Canadá informó que, sobre tres vertederos de Ontario, se midieron concentraciones atmosféricas de mercurio de 360-4.470 ng/m<sup>3</sup> en comparación con concentraciones ambientales de mercurio de 1,5-2,0 ng/m<sup>3</sup> en el resto del país (Pilgrim, 1998). Por otra parte, un estudio más reciente del Ministerio del Medio Ambiente de Canadá indicó una concentración de mercurio de aproximadamente 10 ng/m<sup>3</sup> en gases de vertedero (presentación de Canadá, sub42gov). Entre tanto, diversos estudios recientes (Lindbergh *et al.*, 2001, entre otros citados por Estados Unidos, Comm-24-gov) indican que las emisiones de mercurio de vertederos pueden ser más altas que las estimadas anteriormente. Es evidente que, hasta que no se

conozca en mayor detalle su significación, esta vía de liberación del mercurio a escala mundial deberá ser objeto de las investigaciones en curso.

#### **Panorama de las trayectorias del mercurio de la sociedad al medio ambiente**

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

- **Atmósfera:** Transporte local, regional y hemisférico/mundial con masas de aire y deposición, sumamente dependiente de la especiación del mercurio emitido.
  - Emisiones procedentes de fuentes puntuales y difusas importantes, tales como viviendas (quema de combustibles fósiles);
  - Emisiones procedentes de crematorios, debido principalmente a las amalgamas dentales que contienen mercurio;
  - Liberaciones difusas de productos de desecho no recolectados (lámparas fluorescentes, pilas y baterías, termómetros, interruptores de mercurio, dientes caídos que tenían amalgamas, etc.);
  - Evaporación de descargas anteriores al suelo y al agua;
  - Evaporación de mercurio eliminado en vertederos;
  - Reemisión de mercurio depositado de la atmósfera.
- **Agua – medio acuático:** Marino (océanos), dulceacuático (ríos, lagos, etc.).
  - Descargas directas de la industria y los hogares a medios acuáticos receptores;
  - Descargas indirectas vía los sistemas de tratamiento de aguas residuales;
  - Deposición de mercurio emitido anteriormente a la atmósfera;
  - Escorrentía superficial y lixiviación de suelos y vertederos contaminados con mercurio, sin membrana para recoger lixiviados ni sistema de purificación de aguas de lixiviación;
  - Lavado de mercurio depositado anteriormente en el suelo.
- **Suelo – medio terrestre:** Superficies generales de suelo y aguas subterráneas, así como desechos concentrados almacenados en vertederos (controlados o informales).
  - Eliminación en vertederos – con o sin protección de las aguas subterráneas y suelos circundantes (membranas y sistema de purificación de aguas de lixiviación);
  - Liberaciones difusas procedentes de productos de desecho no recolectados (pilas y baterías, termómetros, interruptores de mercurio, dientes caídos que tenían empastes de amalgama, etc.);
  - Liberaciones locales procedentes de la industria: Materiales *in-situ* y almacenamiento de desechos, caños rotos/sin usar, equipos y materiales de construcción;
  - Esparcimiento de lodos de depuración en tierras agrícolas (utilizados como fertilizante) que contienen contaminantes en estado de trazas;
  - Uso de residuos sólidos procedentes de la incineración de desechos y la combustión de carbón en obras de construcción (escorias/cenizas residuales y cenizas volantes);
  - Entierro de personas que tienen empastes dentales de amalgama;
  - Deposición de mercurio emitido anteriormente a la atmósfera.

500. Lindbergh *et al.* (2001) también observaron que los vertederos de desechos municipales investigados emitían metilmercurio. Según lo que se sabe sobre los procesos de transformación química que tienen lugar en los vertederos, la conversión de mercurio en metilmercurio o dimetilmercurio, que son más tóxicos, podría ser un fenómeno general de los vertederos de desechos municipales. Esa trayectoria obvia la biotransformación que tiene lugar en los medios acuáticos y – lo que es particularmente preocupante si las emisiones de los vertederos son considerables – contribuye directamente a la carga de metilmercurio y sus correspondientes impactos en los seres humanos y el medio ambiente.

#### **6.4.3 Destino de las impurezas movilizadas de mercurio en materiales de gran volumen**

501. Una importante proporción del mercurio movilizado por los seres humanos al usar materiales que contienen bajas concentraciones naturales de impurezas de mercurio se liberan difusamente al medio ambiente sin modo de retener el mercurio. Un ejemplo significativo es el uso de carbón y otros combustibles fósiles en viviendas y muchas calderas industriales.

502. En las actividades industriales cada vez más intensas que se realizan en el mundo, se emplean grandes volúmenes de materiales (carbón, metales y minerales, cal, plásticos y algunos productos químicos de gran volumen, etc.) que contienen cantidades muy pequeñas de impurezas de mercurio. Como se mencionó en otras secciones de este capítulo, esas fuentes aportan una proporción importante de las liberaciones tanto nacionales como mundiales de mercurio al medio ambiente.

503. En algunas partes del mundo, las fuentes puntuales importantes de liberaciones de mercurio procedente de las impurezas de los materiales de gran volumen están equipadas con tecnologías de reducción de emisiones, que disminuyen las descargas directas de mercurio y otros contaminantes al medio ambiente. Como se mencionó en la sección 6.3.6, esas medidas se han venido empleando cada vez más en Europa y América del Norte en los últimos 10 ó 20 años y, en los últimos años, se han empezado a aplicar en otras regiones, tales como el este de Asia.

504. En el capítulo 8 se describen las capacidades que tienen esas medidas para impedir que el mercurio se libere directamente en el medio ambiente. El mercurio retenido en los residuos sólidos producidos por los sistemas de reducción de emisiones suele almacenarse en vertederos, lo cual implica una protección intermedia y posibles liberaciones a largo plazo, como se describió en los párrafos anteriores sobre los usos intencionales del mercurio. Los residuos líquidos (agua) de ciertas tecnologías de reducción de emisiones suelen tratarse en plantas de depuración de aguas residuales integradas en las instalaciones, o en el sistema público de depuración de aguas residuales, con las consecuencias que se mencionaron anteriormente con respecto a los efluentes de vertederos.

#### **6.4.4 El ciclo mundial del mercurio**

505. Es importante comprender que los orígenes de la deposición atmosférica de mercurio (flujo de mercurio de la atmósfera a la tierra y a los océanos) son locales y también hemisféricos o mundiales. Varios estudios de envergadura han apoyado la idea de que, además de las fuentes locales como la industria, la combustión de carbón y la incineración de desechos, las concentraciones generales de fondo que se encuentran en la atmósfera mundial/hemisférica contribuyen considerablemente a la carga de mercurio de cualquier lugar (véase por ejemplo US EPA, 1997; Munthe *et al.*, 2001; Pirrone *et al.*, 2001). De modo semejante, prácticamente cualquier fuente local contribuye a los niveles de fondo – la reserva mundial de mercurio de la biosfera. Asimismo, las corrientes oceánicas son medios de transporte de mercurio a larga distancia y los océanos son importantes sumideros dinámicos de mercurio en el ciclo mundial.

#### **Circulación del mercurio en y entre los compartimentos ambientales**

506. Como se mencionó anteriormente, el mercurio es un elemento natural que no se puede crear ni destruir, y existe en la misma cantidad desde que se formó el planeta. Muchos estudios de investigación indican que las actividades naturales y humanas (antropógenas) pueden redistribuir ese elemento en los ecosistemas de la atmósfera, el suelo y el agua mediante una compleja combinación de movimientos y transformaciones. La figura 6.5 ilustra las principales interacciones que ocurren entre los compartimentos ambientales.

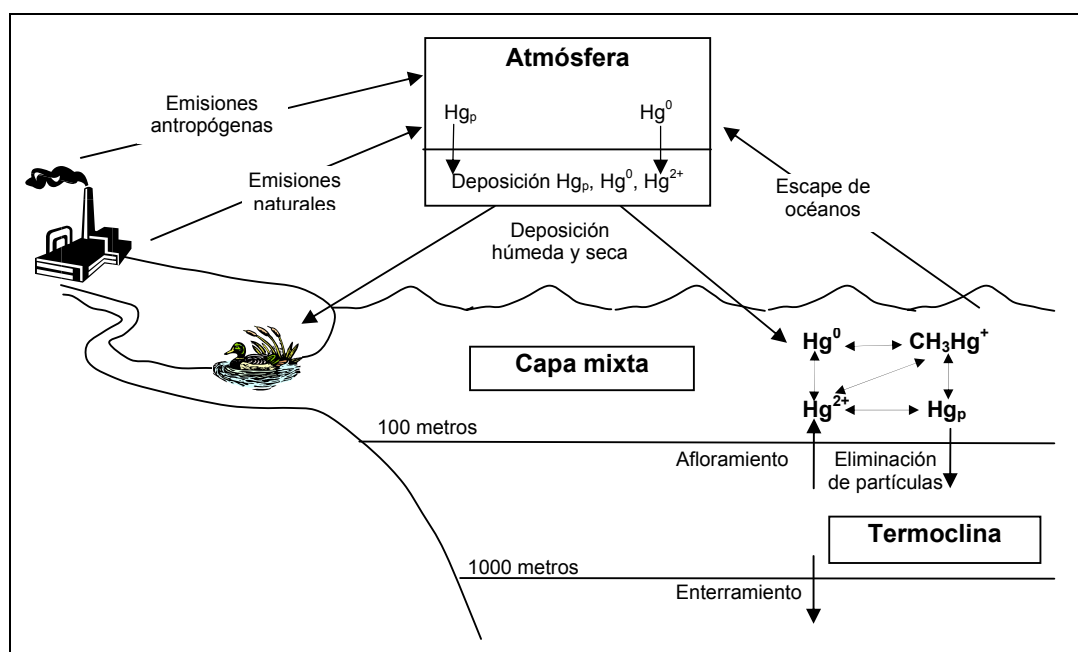


Figura 6.5 Interacciones dinámicas en la distribución de mercurio entre los compartimentos ambientales (basado en Lamborg *et al.*, 2002, según adaptación de Mason *et al.*, 1994).

## Aire

507. El mercurio es emitido por una variedad de fuentes puntuales y difusas, y luego se dispersa y translada en el aire, se deposita en la tierra y se almacena en los compartimentos ambientales (agua, suelo y atmósfera) o se redistribuye entre ellos. Por lo tanto, el ciclo y la repartición del mercurio entre los diferentes compartimentos ambientales son fenómenos complejos que dependen de numerosos parámetros ambientales. Hasta hace poco, se suponía que la deposición húmeda representaba el principal mecanismo de transferencia de mercurio y sus compuestos desde la atmósfera hasta los receptores acuáticos y terrestres. Sin embargo, estudios realizados por la *US EPA*, el Departamento de Protección Ambiental de Florida y el Departamento de Energía de Estados Unidos han demostrado que la deposición seca de especies de mercurio gaseoso divalente puede ser igual o mayor que la deposición húmeda, aún en zonas climáticas húmedas como los humedales Everglades de Florida y la región de los Grandes Lagos, que tienen una precipitación anual relativamente elevada (Rea *et al.*, 2000; 2001; Vette *et al.*, 2002; Landis *et al.*, 2002). La forma química y física del mercurio en el aire afecta los mecanismos por los cuales se transfiere a la superficie de la tierra y, en última instancia, incide en el flujo deposicional total. Un aumento en las concentraciones de mercurio del aire ambiente producirá un aumento en la exposición directa de los seres humanos y un aumento en el flujo de mercurio que entra en los ecosistemas terrestres y acuáticos, lo cual provocará una elevación de las concentraciones de metilmercurio en la biota de agua dulce y marina. Investigaciones detalladas realizadas acerca de la deposición de mercurio en los sistemas de bosques boreales han mostrado que la fuente principal de mercurio y metilmercurio en el piso de los bosques es la hojarasca, es decir, pinocha, ramas, etc. (Iverfeldt, 1991; Munthe *et al.*, 1995). Ese mercurio y metilmercurio vienen principalmente de la atmósfera, por deposición seca (no por absorción a través de las raíces), y se adsorben sobre la superficie de las plantas.

508. En América y Europa se han creado redes de vigilancia de la deposición húmeda de mercurio, con el objeto de obtener indicaciones sobre la magnitud del flujo deposicional y datos para la evaluación y ensayo de modelos de simulación del mercurio atmosférico. La figura 6.6 muestra las estaciones de vigilancia que estaban establecidas en América del Norte en el marco de la Red de Deposición del Mercurio (Mercury Deposition Network) en 2001, con observaciones sobre la deposición húmeda acumulada de mercurio y la concentración media de mercurio en las precipitaciones

de ese año. La figura 6.7 muestra resultados similares procedentes de la red de deposición húmeda establecida en Suecia. Las estaciones suecas forman parte de las actividades de vigilancia del EMEP, en el marco del Convenio LRTAP de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE). Se necesitan redes similares para vigilar la deposición seca de mercurio a fin de averiguar la magnitud del flujo deposicional y obtener datos para el ensayo y evaluación de modelos de simulación.

509. En una evaluación que se hizo recientemente de los niveles de mercurio en lucios de un kilo de peso provenientes de lagos de Suecia, se observó una disminución en las concentraciones de mercurio al comparar las del período 1981-1987 con las del período 1988-1995. Esa disminución se puede atribuir a las reducciones documentadas que se produjeron en la deposición atmosférica en ese lapso (Johansson *et al.*, 2001). Al parecer se están produciendo efectos similares en los humedales Everglades de Florida, en Estados Unidos, a raíz de la aplicación de controles de las emisiones de mercurio en incineradores de desechos de la zona de Miami, pero los resultados son preliminares y no han sido dados a conocer en publicaciones científicas arbitradas.

### **Agua**

510. Una vez en los ecosistemas acuáticos, el mercurio puede existir en forma particulada y/o disuelta y transformarse en metilmercurio mediante procesos químicos o microbianos, como se describe en la sección 2.3. Los sedimentos contaminados en el fondo de las aguas superficiales pueden constituir un importante depósito de mercurio. El mercurio unido a los sedimentos se recicla entrando otra vez en el sistema acuático durante décadas o más tiempo.

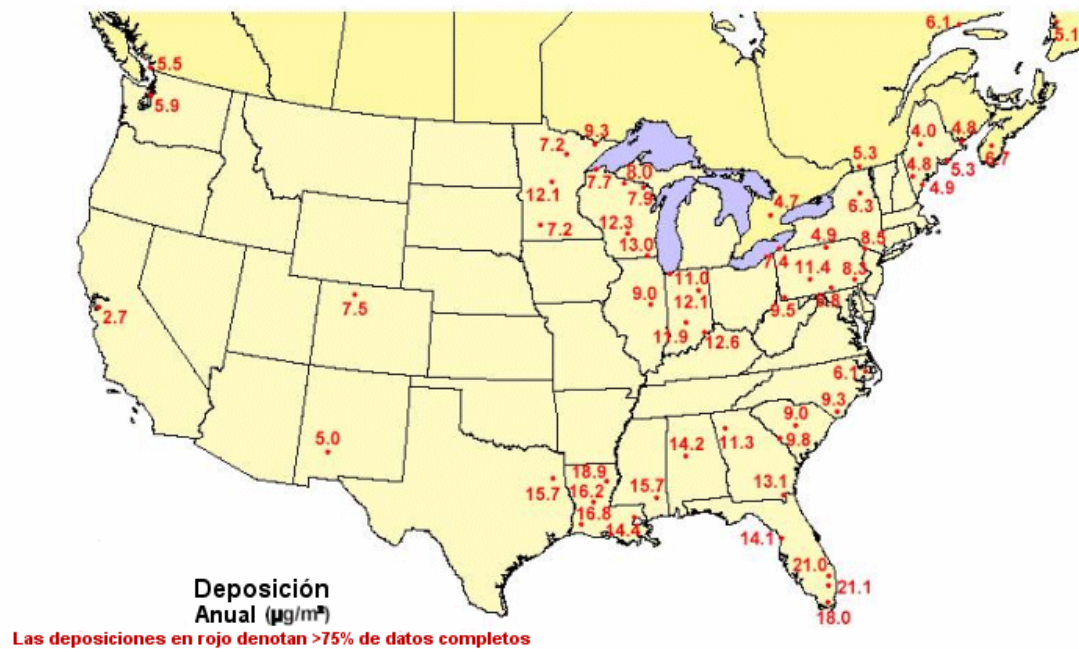
### **Suelo**

511. El mercurio tiene un largo tiempo de retención en el suelo y, en consecuencia, una vez acumulado puede seguir liberándose a las aguas superficiales y otros medios por largos períodos de tiempo, posiblemente cientos de años.

### **Transporte ambiental a grandes distancias**

512. El mercurio es transportado a grandes distancias por movimientos del aire y del agua. Se estima que el transporte atmosférico es particularmente importante ya que el mercurio en forma elemental gaseosa puede desplazarse rápidamente a grandes distancias. Por esa razón, el transporte atmosférico puede ser el causante de la diseminación de este metal hasta las zonas más apartadas de la Tierra. Por ejemplo, la evaluación del *AMAP* (AMAP, 1998) apunta a las fuentes mineras y metalúrgicas situadas en el norte de Rusia, además de las regiones industriales de Europa y América del Norte, como las fuentes predominantes de otros metales pesados que se observan en la atmósfera del Extremo Ártico durante los meses de invierno. A diferencia de lo que ocurre con otros metales pesados, la mayor parte de las emisiones atmosféricas de mercurio está en forma elemental gaseosa. El vapor de mercurio es capaz de desplazarse a grandes distancias con las masas de aire. Datos más recientes sugieren que los niveles de fondo presentes en la atmósfera (procedentes de fuentes antropógenas y naturales) contribuyen considerablemente a la carga de mercurio de zonas apartadas como el Ártico. El resto del mercurio de las emisiones atmosféricas se encuentra en estado iónico o en compuestos/iones gaseosos, que se depositan por procesos secos o húmedos en las inmediaciones de la fuente, en general al interior de un radio de unos pocos cientos de kilómetros.

### Red de deposición del mercurio (MDN)



### Red de deposición del mercurio (MDN)

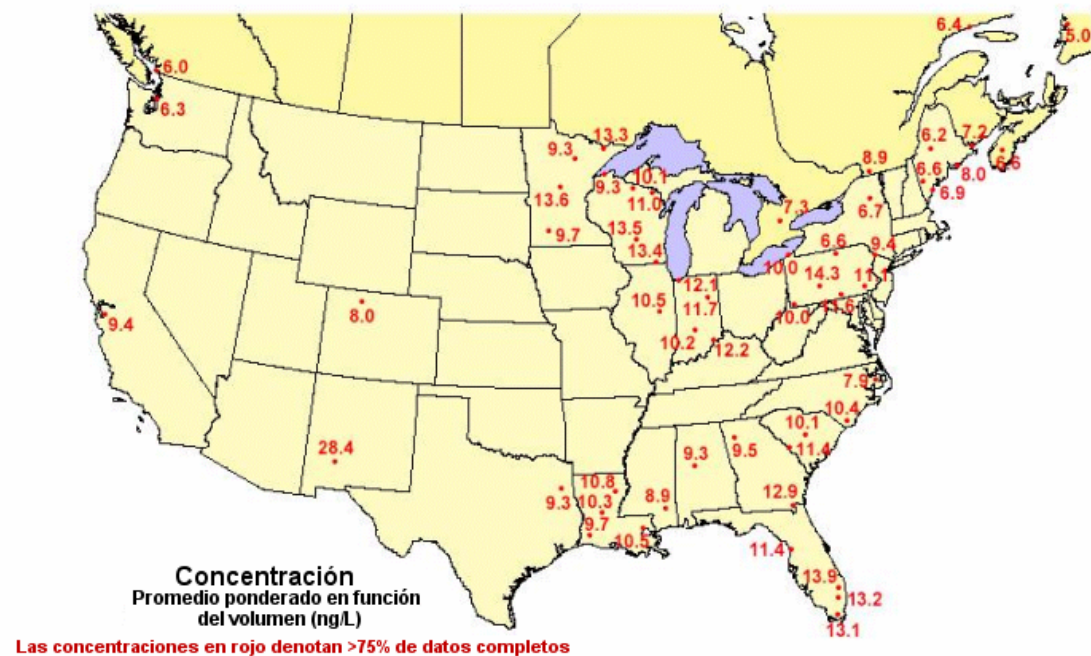


Figura 6.6 Estaciones de vigilancia de la Red de Deposición del Mercurio que estaban establecidas en América del Norte en 2001, con observaciones sobre la deposición húmeda acumulada de mercurio y la concentración media de mercurio en las precipitaciones de ese año. Las figuras provienen de la página web de la Red de Deposición del Mercurio: <http://nadp.sws.uiuc.edu/mdn/>

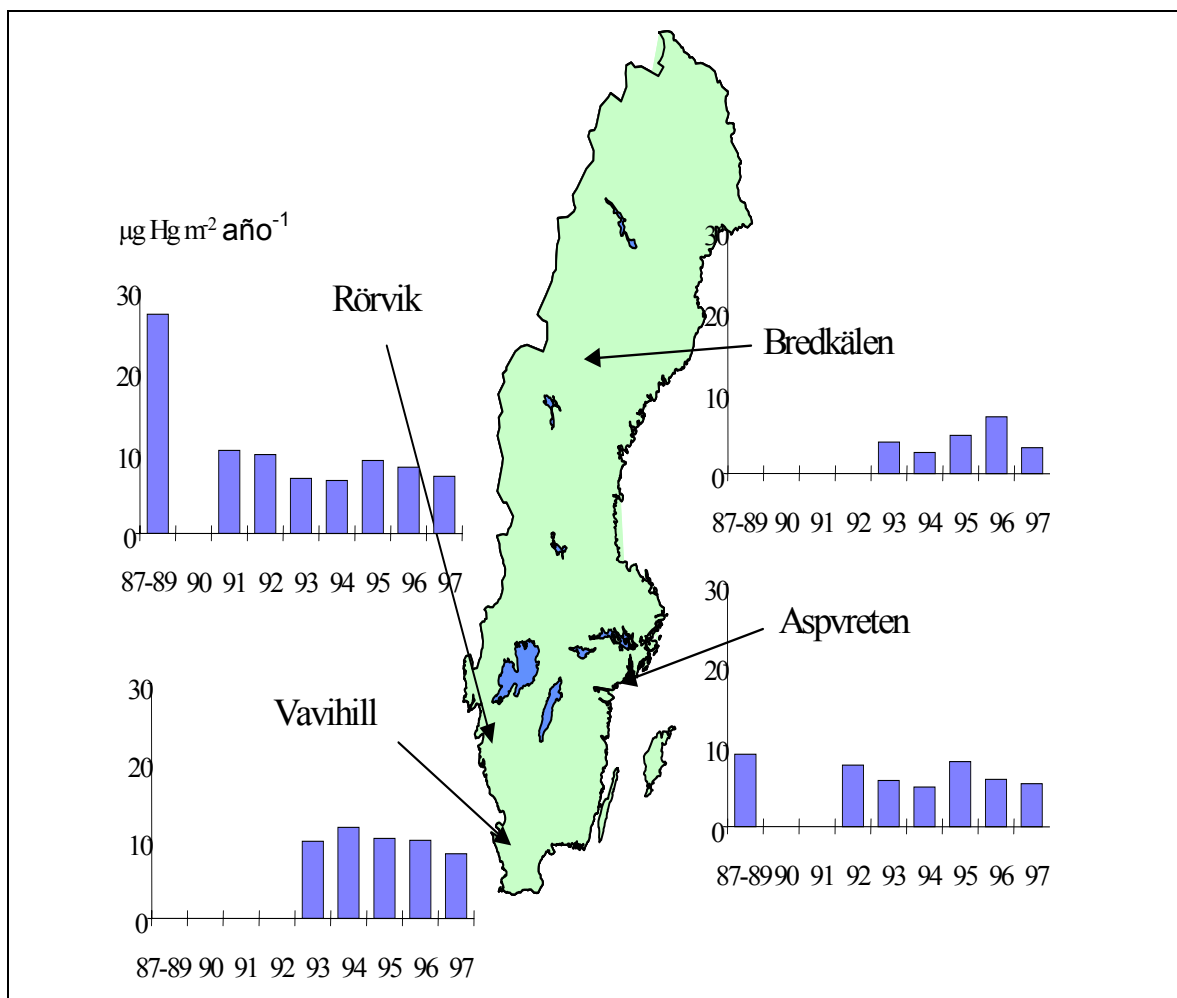


Figure 6.7 Estaciones de vigilancia y resultados (deposición húmeda medida en los años indicados) de la red de deposición húmeda establecida en Suecia. Las estaciones suecas forman parte de las actividades de vigilancia del EMEP en el marco del Convenio LRTAP de la CEPE. Figura proporcionada por John Munthe, IVL, Suecia.

513. Un grupo de científicos, entre ellos varios de los principales especialistas del mundo en investigaciones sobre mercurio atmosférico, llegaron a la siguiente conclusión tras un examen efectuado recientemente de los impactos ambientales del mercurio en Europa (Pirrone *et al.*, 2001):

“El transporte de mercurio a gran distancia en Europa se observó por primera vez a fines de la década de 1970 en Suecia (Brosset, 1982). Desde entonces, las actividades de vigilancia a largo plazo realizadas en Escandinavia han mostrado un claro gradiente en la deposición húmeda del mercurio, con flujos elevados en la parte sudoeste de la región; es decir, la más próxima a las principales fuentes de emisión de Europa central (Iverfeldt, 1991; Munthe *et al.*, 2001a). Se han mostrado patrones semejantes en América del Norte. Los estudios escandinavos han revelado también una disminución significativa de la deposición húmeda después de la reducción de las emisiones de mercurio que tuvo lugar en torno a 1990 (Iverfeldt *et al.*, 1995; Munthe *et al.*, 2001a)”.

514. Recientes proyectos de investigación realizados en el marco del Programa de Investigación de Medio Ambiente y Clima han revelado que la influencia antropógena en los niveles atmosféricos de mercurio todavía es considerable a pesar de la reducción de las emisiones lograda en la última década (Pirrone *et al.*, 2000; Munthe *et al.*, 2001). Esos proyectos también han demostrado claramente la influencia que ejerce el ciclo hemisférico/mundial del mercurio. Los autores llegan a la conclusión de que, si bien las emisiones de mercurio se redujeron significativamente durante la última década, la



deposición atmosférica todavía es muy alta si se la compara con la de la época preindustrial. Opinan que es necesario que se reduzca aún más a fin de proteger ecosistemas vulnerables, y prevenir y disminuir los niveles de metilmercurio en los peces dulceacuícolas de Escandinavia y otros lugares. Se observó asimismo una influencia considerable de las contribuciones de fondo. Los autores suponen que gran parte del mercurio que existe actualmente en la atmósfera del mundo es resultado de décadas de emisiones de actividades humanas. Señalan que el componente natural de la carga atmosférica total de mercurio es difícil de estimar, pero probablemente sea del orden del 20 a 40% y que, por lo tanto, las actividades antropógenas han multiplicado los niveles atmosféricos de fondo aproximadamente por un factor de 3.

515. La *US EPA* (1997) expresa una visión similar en su informe al Congreso sobre el estudio acerca del mercurio.

### **El agotamiento del mercurio en el amanecer polar**

516. Existe un fenómeno especial que se ha mostrado que influye en la deposición de mercurio en las regiones polares. Se lo denomina “la incidencia de reducción del mercurio en el amanecer polar” o “el amanecer del mercurio” y corresponde a una deposición de mercurio muy elevada que ocurre los primeros meses del amanecer polar (está mejor estudiado en el Ártico). Al parecer, la actividad solar y la presencia de cristales de hielo inciden en la transformación atmosférica del mercurio elemental gaseoso en mercurio divalente, que se deposita con mayor rapidez. El agotamiento del mercurio ocurre al mismo tiempo que el agotamiento del ozono troposférico (fenómeno distinto del más conocido agotamiento del ozono estratosférico).

517. Este fenómeno polar representa un desafío especial para los encargados de modelar el transporte atmosférico del mercurio, que deben comprender el mecanismo del fenómeno a fin de poder predecir el intercambio y la deposición de mercurio en los Polos y regiones circundantes.

518. La aportación atmosférica neta a los ecosistemas polares que resulta de este fenómeno no se conoce en detalle. El mercurio vuelve a emitirse a partir de la superficie de la nieve y durante el deshielo, pero los episodios de agotamiento aún pueden producir un aporte significativo al medio acuático. Si este fenómeno llegase a producir una tasa anual de deposición de mercurio más grande en las regiones polares que en otras partes del mundo, podría significar que las regiones polares funcionan como “trampas frías”, recogiendo una porción desproporcionadamente grande de las emisiones mundiales de mercurio, lo cual concordaría con las altas concentraciones de mercurio que se observan en el medio acuático del Ártico.

519. En los últimos tiempos se ha observado también un agotamiento de mercurio en Alert, Canadá (Schroeder *et al.*, 1998; Lu *et al.*, 2001), Barrow, Alaska, Estados Unidos (Lindberg *et al.*, 2002b), Svalbard (Berg *et al.*, 2002) y Groenlandia (Skov, 2002), así como en la Antártida (Ebinghaus *et al.*, 2002) y, por lo tanto, cabe decir que es un fenómeno polar generalizado que puede influir en la aportación total a los ecosistemas polares.

520. Para más información sobre el agotamiento del mercurio en las regiones polares, se sugiere leer las publicaciones de Schroeder *et al.* (1998) y Lu *et al.* (2001).

### **Carga acumulada de mercurio antropógeno**

521. El medio ambiente contiene mercurio de fuentes naturales, pero la contribución antropógena a la carga ambiental de este metal es evidente. En diversas partes del mundo hay indicaciones de que, a partir de la época preindustrial, las emisiones antropógenas de mercurio han producido aumentos de 50 a 300% en las tasas de deposición y que, en el interior y alrededor de las zonas industriales, en los últimos 200 años, esas tasas se han multiplicado por un factor de 2 a 10 (Bergan *et al.*, 1999; Lindquist *et al.*, 1984; citado en von Rein y Hylander, 2000). Esa información se puede inferir de los perfiles de concentraciones de mercurio de sedimentos oceánicos y lacustres, y de turberas, y de las tendencias geográficas de las concentraciones de mercurio en los suelos, entre otras cosas.

522. Los perfiles de las concentraciones de mercurio a diferentes profundidades a partir de la superficie de los sedimentos dan una idea de los cambios que ha experimentado la carga de mercurio a lo largo del tiempo. Varias condiciones naturales, tales como las corrientes locales, las concentraciones de oxígeno y la actividad biológica, inciden en la inmovilización y removilización del mercurio unido a los sedimentos. Por lo tanto, el lugar donde se toman los perfiles de mercurio para estos fines debe seleccionarse con cuidado y el resultado se debe interpretar con prudencia, en particular en las capas superiores más recientes, que todavía pueden estar afectadas por removilizaciones (HELCOM, 2001).

523. Sin embargo, en un estudio muy reciente, Schuster *et al.* (2002) utilizaron el registro de núcleos de hielo para estudiar la deposición de mercurio atmosférico durante los últimos 270 years. Entre otras observaciones, llegaron a la conclusión de que la contribución antropógena durante los últimos 100 años había aumentado a 70% del total. Por otra parte, los registros de núcleos tanto de hielo como de sedimentos de los últimos diez años mostraron que la deposición atmosférica de mercurio había sufrido disminuciones (Schuster *et al.*, 2002, citado por el Consejo Mundial del Cloro, Comm-4-ngo). Teniendo presente la salvedad señalada anteriormente, es posible que la principal influencia antropógena en la deposición atmosférica de mercurio durante la era industrial está empezando a declinar.

524. Como ejemplo de indicaciones de la carga acumulada de mercurio a lo largo del tiempo en distintas regiones geográficas, las figuras 6.8-6.11 muestran concentraciones de mercurio en los sedimentos marinos del Ártico; Skagerrak, en la región del mar del Norte (aguas del OSPAR en el norte de Europa), y el Báltico (aguas de la HELCOM) (la selección de ilustraciones es algo arbitraria, pero la literatura trae muchos ejemplos). Es notable que la mayor parte de los perfiles muestren la misma tendencia de las concentraciones de mercurio a aumentar en la época industrial.

525. Con respecto al Ártico (figura 6.8), el *AMAP* llega a la conclusión en su evaluación (1998) que varios conjuntos de datos indican una acumulación generalizada de mercurio en sedimentos árticos superficiales. El enriquecimiento tuvo lugar en particular en los 2-10 cm superiores de los sedimentos, incluso en el Polo Norte. El informe señala que este fenómeno podría indicar una aportación de escala mundial al medio marino en los últimos tiempos, pero que se necesitan más investigaciones antes de poder extraer conclusiones seguras acerca de la fuente del enriquecimiento observado.

526. Los perfiles de Skagerrak (figura 6.9) y la zona del Báltico (figuras 6.10 y 6.11) se han datado. En ambas zonas, las concentraciones de mercurio aumentaron durante el siglo pasado. En los perfiles del Báltico, hay indicios de que la carga de mercurio ha venido disminuyendo durante las últimas décadas, lo cual parece razonable, ya que en Escandinavia se ha reforzado considerablemente el control de las liberaciones regionales en ese período (presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov). El patrón general en las aguas europeas es que las concentraciones de mercurio en los sedimentos marinos son más altas en proximidad de las costas y desembocaduras de ríos que tienen muchas fuentes de actividades antropógenas e industriales (como las industrias de pasta y papel, y cloro-álcali) (OSPAR, 2000; HELCOM, 2001).

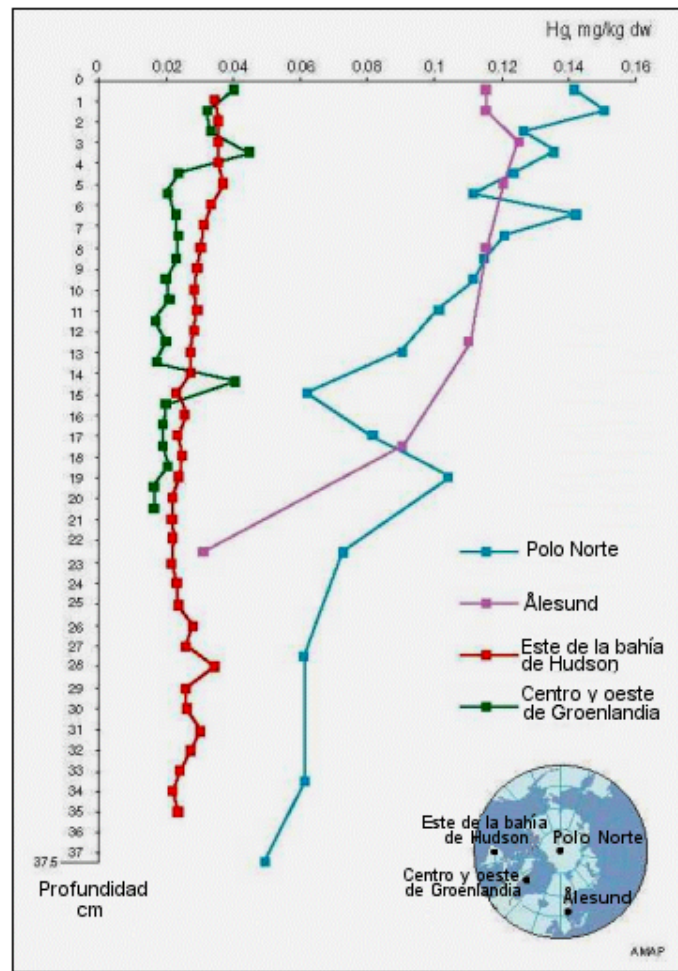


Figura 6.8 Ejemplos de concentraciones de mercurio en perfiles de sedimentos de zonas marinas del Ártico (AMAP, 1998).<sup>7</sup> Figura original presentada por gentileza del AMAP, Noruega.

<sup>7</sup> En la referencia no se explican las posibles razones del patrón algo desviado del enriquecimiento de mercurio en la bahía de Hudson – una posible explicación podría ser el uso de una escala de edades diferente en el perfil local.

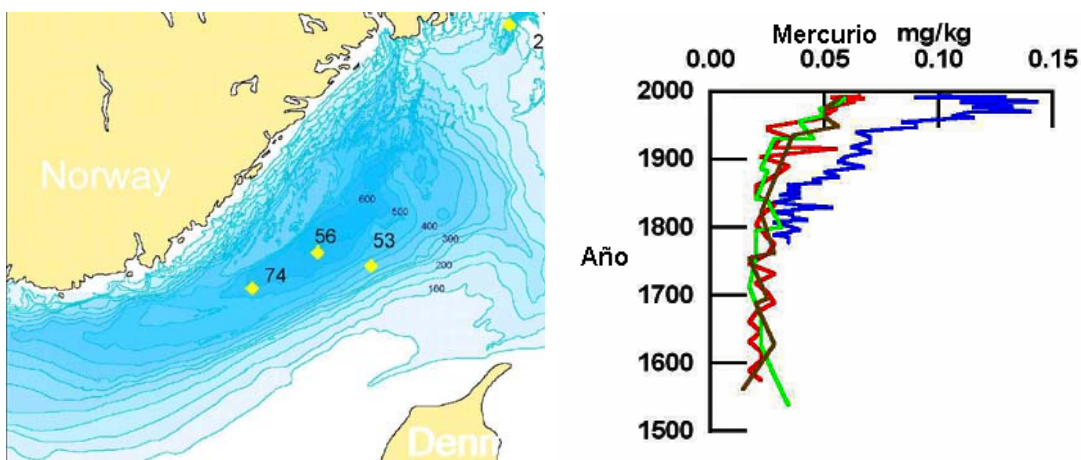


Figura 6.9 Ejemplos de mercurio en perfiles de sedimentos de Skagerrak, en el sur de Noruega, en la zona marina del Convenio OSPAR (Oddvar y Thorsnes, 1997). Línea azul: Perfil de la estación 2, la más próxima al fiordo de Oslo y la costa de Suecia. Figuras originales presentadas por gentileza de la Comisión Geológica de Noruega (ONG).

527. Un número de investigadores han preguntado en qué condiciones los perfiles de sedimentos de zonas remotas sin contaminación local se pueden considerar pruebas de una elevación de la concentración atmosférica de fondo a nivel mundial o hemisférico, como conviene comúnmente los científicos especializados en ese campo. La cuestión es saber si el mercurio es suficientemente móvil para modificar su posición física en las capas superiores de los sedimentos durante los primeros cambios geoquímicos, la llamada “diagénesis”.

528. La cuestión ha sido objeto de análisis en la literatura reciente. Por ejemplo, Fitzgerald *et al.* (1998) han “examinado las lagunas en la interpretación y selección de la información que se ha usado para argumentar en contra de la contaminación atmosférica con mercurio” y estudian varios conjuntos de datos procedentes de otras investigaciones, que – en su opinión – no se pueden explicar por la diagénesis. Entre otros argumentos, Fitzgerald *et al.* (1998) sostienen que los estudios anteriores de núcleos de hielo de Groenlandia, utilizados por los críticos como argumentación, no empleaban las técnicas de muestreo ultra limpias que se conocen hoy día, y produjeron resultados contaminados por el equipo de muestreo. Estudios más recientes sobre el casquete glaciar de Groenlandia confirman las conclusiones de un aumento general de los niveles atmosféricos de fondo debido a emisiones antropógenas. Fitzgerald *et al.* (1998) llegan a la conclusión de que, a pesar de las incertidumbres de los conocimientos actuales, existe una amplia base de datos geológicamente coherente que indica que, en vastas regiones del globo, las emisiones antropógenas de mercurio han aumentado en relación con las de las fuentes naturales desde el comienzo del período industrial.

529. Diversas investigaciones sobre las concentraciones de mercurio en perfiles de sedimentos lacustres realizadas en Suecia en la década de 1980 muestran claramente un aumento en las concentraciones de mercurio de los sedimentos superficiales (Johansson, 1985). El aumento es grande en los perfiles de sedimentos tomados en el sur del país, mientras que los sedimentos lacustres de lagos del norte muestran un aumento muy pequeño. Ello muestra la influencia del transporte a largas distancias desde zonas de fuentes situadas en el continente europeo. En núcleos de sedimentos lacustres más recientes del sudoeste de Suecia, las concentraciones de mercurio en los sedimentos superficiales disminuyen, correspondiendo a una reducción de las aportaciones atmosféricas que tuvo lugar en la década de 1990 (Munthe *et al.*, 1995).

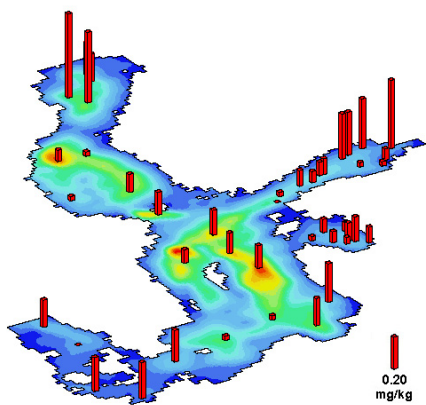


Figura 6.10 Niveles de mercurio en sedimentos superficiales de la zona marina del Báltico (mg/kg de peso seco; valores corregidos para tener en cuenta las sales). Las zonas amarilla y naranja indican las cuencas profundas. Orientación: Dinamarca está situada en la esquina inferior izquierda de la figura – Rusia, en la esquina superior derecha. Figura procedente de la HELCOM (2001); original presentado por gentileza de la HELCOM, Finlandia.

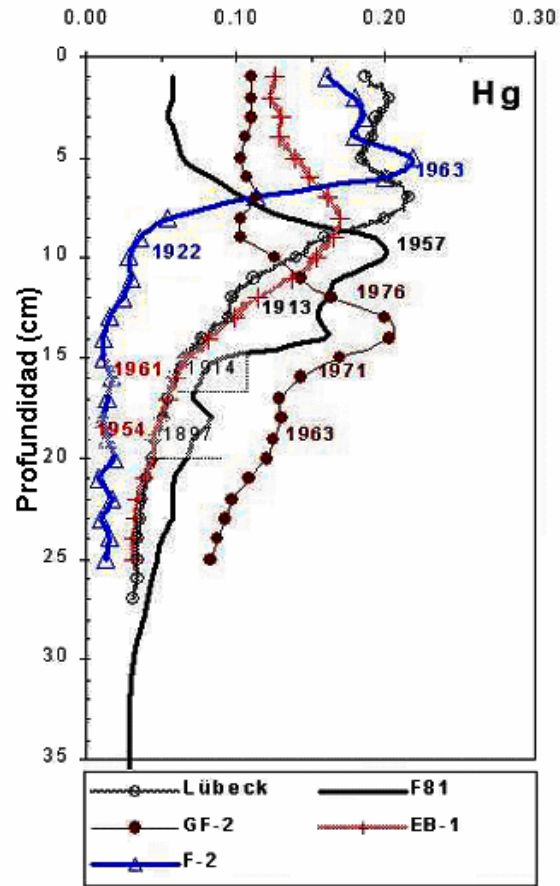


Figura 6.11 Distribución vertical del mercurio (mg/kg de peso seco) en sedimentos de la bahía de Lübeck, bahía de Gdansk, golfo de Finlandia (GF-2), golfo de Botnia (F-2) y mar de Botnia (EB-1) en 1993. Se indica la edad del sedimento. Figura procedente de la HELCOM (2001); original presentado por gentileza de la HELCOM, Finlandia.

#### 6.4.5 Modelos del transporte atmosférico del mercurio

530. Durante dos décadas, se ha tratado de elaborar modelos capaces de describir el cuadro a menudo complejo del ciclo atmosférico del mercurio en diferentes regiones del mundo. Actualmente existen modelos para diversas partes del hemisferio norte, que permiten a los científicos describir el transporte atmosférico de sustancias como el mercurio y predecir sus tasas de deposición en relación con la posición geográfica, así como vigilar las consecuencias de cambios en los patrones de emisión. Los modelos de simulación cumplen un papel crítico en el desarrollo de mejores conocimientos acerca del ciclo atmosférico del mercurio cuando se combina con estudios básicos por observación. Cuando los resultados de los modelos se comparan con las observaciones, los casos de mala concordancia se

utilizan para aislar importantes incertidumbres científicas que se pueden abordar en otras investigaciones de base. Los modelos luego se actualizan para reflejar cualquier nueva fuente atmosférica o procesar información obtenida y contrastada otra vez con las observaciones. Este ciclo iterativo de modelación e investigación básica continúa hasta que se demuestra que el modelo ha alcanzado la exactitud deseada con respecto a la observación. En este momento, sigue habiendo graves discrepancias entre las simulaciones hechas con modelos y las observaciones de concentraciones atmosféricas de mercurio y flujos de deposición. Los estudios de comparación de diversos modelos han producido resultados diferentes al simular circunstancias idénticas (véase Ryaboshapko *et al.*, 2001), lo cual sugiere que nuestros conocimientos científicos sobre el mercurio atmosférico siguen siendo equivocados y/o incompletos.

531. En los últimos diez años, se han elaborado modelos atmosféricos del transporte de mercurio a escala regional, hemisférica y mundial. Los modelos regionales cubren América del Norte (Bullock *et al.*, 1997; Pai *et al.*, 1997; Seigneur *et al.*, 2001; Bullock y Brehme, 2002) y Europa, incluyendo la parte europea de Rusia (Petersen *et al.*, 2001; Ilyin *et al.*, 2001). Los modelos mundiales o hemisféricos se pueden dividir en modelos de caja, que describen el ciclo general del mercurio en el medio ambiente por medio de grandes depósitos (Mason *et al.*, 1994; Lamborg *et al.*, 2002), y modelos de malla, que permiten calcular el transporte de mercurio a grandes distancias y su deposición en todo el globo (Bergan *et al.*, 1999; Seigneur *et al.*, 2001; Travnikov y Ryaboshapko, 2002). Los diferentes modelos del transporte de mercurio se comparan y evalúan en la campaña de comparación de modelos mencionada (Ryaboshapko *et al.*, 2001). Se ha intentado también crear modelos globales, según los métodos de balance de masas (Mason *et al.*, 1994) o transporte meteorológico (Bergan *et al.*, 1999, y Shia *et al.*, 1999).

532. Para más información sobre el desarrollo y estado actual de las técnicas de modelación del transporte de mercurio, consúltense los siguientes documentos:

- 1996: Ciclos globales y regionales del mercurio: Fuentes, flujos y balance de masas (*Global and regional mercury cycles: Sources, fluxes and mass balances*; Baeyens *et al.*, 1996).
- 1999: Actas del taller de la OMS/EMEP/PNUMA sobre modelación del transporte atmosférico y deposición de contaminantes orgánicos persistentes y metales pesados (*Proceedings from the WMO/EMEP/UNEP workshop on modelling of atmospheric transport and deposition of persistent organic pollutants and heavy metals*; WMO/EMEP/UNEP, 2000).
- 2000: Métodos actuales y estrategias de investigación para la modelación de mercurio atmosférico (*Current methods and research strategies for modelling atmospheric mercury*; Bullock, 2000), que describe métodos y estrategias de investigación actuales para modelar el transporte, la transformación y la deposición de mercurio atmosférico en América del Norte y Europa.
- 2001: Resumen y conclusiones del Taller Internacional del AMAP-NMR-MEPOP sobre mercurio y contaminantes orgánicos persistentes (*Summary and findings from the AMAP-NMR-MEPOP International Workshop on Mercury and POPs*), realizado en Roskilde, Dinamarca, del 10 al 12 de septiembre de 2001 (Anexo 3 de la presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov).
- 2001: Documento de posición sobre la contaminación del aire ambiente en la UE con mercurio (*EU Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) – Position Paper*; Pirrone *et al.*, 2001), que ofrece una buena descripción de la modelación del transporte y deposición del mercurio atmosférico, así como los últimos resultados provenientes del norte de Europa y la región del Mediterráneo.
- 2002: Comparación de modelos de la química del mercurio (*Comparison of mercury chemistry models*; Ryaboshapko *et al.*, 2002); descripción de una comparación de tratamientos modelo para el mercurio de las gotitas de agua y niebla en diversos modelos del transporte a grandes distancias que están en desarrollo en América del Norte y Europa.

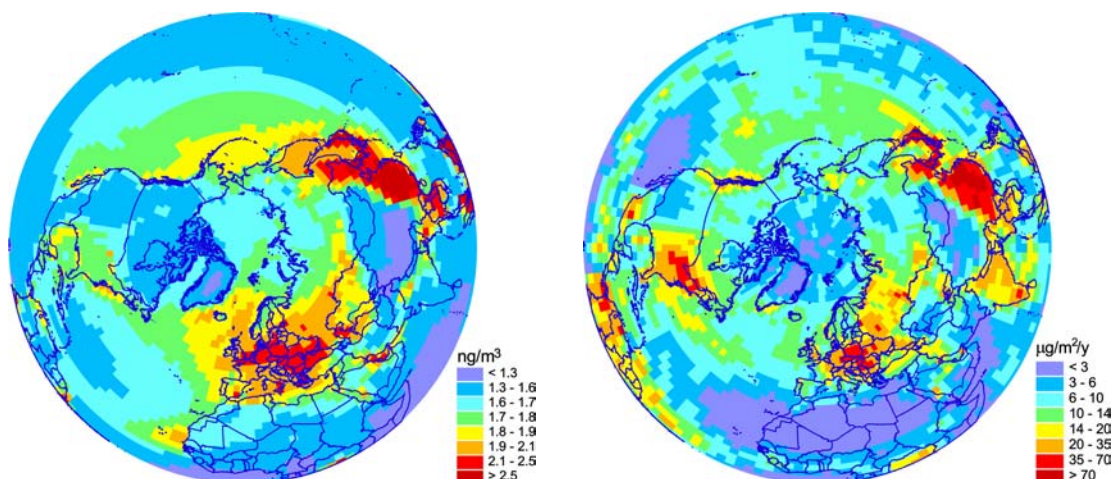
533. Se han producido numerosos documentos sobre la modelación del transporte de mercurio y sus resultados en relación con el EMEP y otras actividades relativas al Convenio LRTAP realizadas bajo



los auspicios de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa. Véanse las presentaciones de la UN ECE (adjuntas a sub9igo).

534. El Meteorological Synthesizing Centre East (MSC-E) del EMEP realiza cada año cálculos operativos del transporte transfronterizo y deposiciones de mercurio en la región europea. Las concentraciones de mercurio en el aire ambiente y los campos de deposición de cada Parte del Convenio LRTAP se evalúan junto con el transporte mutuo de mercurio que tiene lugar entre los países. Además, recientemente se elaboró, en el marco del proyecto conjunto del EMEP y el AMAP, un modelo hemisférico que permite evaluar la contaminación de mercurio en el hemisferio norte. Los resultados de la modelación del transporte hemisférico de mercurio se presentan en la figura 6.12 (Travnikov y Ryaboshapko, 2002). Muestran que el mercurio gaseoso se distribuye de manera más o menos uniforme en el hemisferio norte (obsérvense las diferencias en escala), mientras que los flujos de deposición varían significativamente (hasta dos órdenes de magnitud) entre las regiones industrializadas y las remotas. Es posible distinguir las tres zonas más contaminadas con mercurio: el sudeste de Asia, Europa y el este de América del Norte.

535. Algunas de las presentaciones nacionales hechas al PNUMA dan información sobre concentraciones de aire ambiente, que podrían aportar mayores conocimientos sobre el transporte atmosférico de mercurio.



a) Concentraciones medias anuales de mercurio gaseoso total

b) Deposición total de mercurio por año

*Figura 6.12 Concentración media anual de mercurio gaseoso total (a) y deposición total anual de mercurio (b) en el hemisferio norte – Nótese las diferencias en escala. Procedente de Travnikov y Ryaboshapko (2002); presentado por el MSC-E del EMEP (comm-4-igo).*

#### 6.4.6 Modelos del ciclo del mercurio en cuencas hidrográficas

536. Como en el caso de la modelación del ciclo atmosférico del mercurio, en las dos últimas décadas se ha venido prestando cada vez más atención a la modelación del ciclo del mercurio en las cuencas. En este caso, la modelación también es compleja, debido al gran número de especies y procesos de transformación posibles, y a la dificultad para cuantificar cada uno de ellos. Uno de los proyectos de modelación que se ha elaborado y aplicado en América del Norte es el Modelo del Ciclo de Mercurio. En principio concebido para lagos, este modelo toma en cuenta las aportaciones y pérdidas de mercurio en una masa de agua, procesos de reacción (metilación y desmetilación, reducción de mercurio reactivo disuelto para dar mercurio elemental, etc.), flujos entre compartimentos (depósito de partículas en los sedimentos, resuspensión de sedimentos, etc.) y otros componentes. El modelo, que ha sufrido diversas modificaciones, se ha aplicado en varios lugares, entre ellos un lago templado del norte

de Wisconsin y la zona de los Everglades en Florida, en el marco del proyecto piloto de la *US EPA* sobre la carga diaria máxima total de mercurio (Total Maximum Daily Load, TMDL). Para información sobre ese modelo, consúltese Hudson *et al.* (1994).

537. La *US EPA* ha utilizado un método más simple de modelación en la elaboración de la TMDL de mercurio en el sudeste de Estados Unidos. La tarea implicó combinar el modelo WASP5 de transporte y destino de la columna de agua con un sistema de caracterización de cuencas basado en un sistema de información geográfica (SIG) y una hoja de cálculo de la carga de mercurio. Para la parametrización, el sistema del modelo requiere datos sobre el mercurio específicos del sitio. Los autores observaron que, aunque todavía falta reducir las incertidumbres en un número de procesos, la aplicación limitada del sistema de modelación ha producido resultados que concuerdan razonablemente bien con los datos ambientales (Ambrose y Wool, 2002).



## 7 Producción y uso actuales del mercurio

### 7.1 Panorama general

#### Origen del mercurio

538. El mercurio es un elemento natural de la tierra, presente en la corteza terrestre a razón promedio de 0,05 mg/kg, con significativas variaciones locales. Los minerales de mercurio que se suelen extraer contienen cerca de 1% de mercurio, aunque los estratos que se explotan en España contienen generalmente hasta 12 o 14% de mercurio. A pesar de que se conocen unos 25 minerales principales de mercurio, prácticamente los únicos depósitos que han sido explotados para la extracción de mercurio son los de cinabrio. En la biosfera también hay mercurio a niveles muy bajos. La absorción de mercurio por parte de las plantas puede explicar la presencia de mercurio en combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas, pues se considera que estos combustibles se han formado a partir de la transformación geológica de residuos orgánicos.

#### Fuentes de mercurio para el mercado

539. El mercurio ofrecido en el mercado mundial se obtiene de diversas fuentes, entre ellas (sin que el orden indique jerarquía):

- Producción minera de mercurio primario (es decir, extraído de minerales de la corteza terrestre):
  - como producto principal de la actividad minera,
  - o como subproducto de la extracción o refinamiento de otros metales (zinc, oro, plata) o minerales;
- Mercurio primario recuperado al refinar gas natural (se comercializa como subproducto, pero no se comercializa en todos los países);
- Reprocesamiento o minería secundaria de residuos mineros antiguos que contienen mercurio;
- Mercurio reciclado, recuperado de productos usados y desechos de procesos de producción industrial. Quedan grandes cantidades (“depósitos”) de mercurio “almacenados” dentro de productos que aún se usan o que están “en los estantes de los usuarios”;
- Mercurio de las reservas, o inventarios, gubernamentales;
- Reservas privadas (como el mercurio para la industria cloroalcalina). Quizás parte de estas reservas regresen al mercado posteriormente.

540. La minería y demás operaciones de extracción mineral de mercurio primario constituyen la movilización humana del mercurio para uso intencional en productos y procesos. El mercurio reciclado y el mercurio en reservas puede considerarse como removilización antropógena de mercurio extraído anteriormente de la Tierra.

#### Extracción continua de mercurio primario

541. A pesar de la reducción de consumo mundial de mercurio (la demanda global es menos de la mitad de lo que era en 1980), de la competencia en la oferta y los bajos precios, en algunos países se sigue produciendo mercurio por extracción. En los últimos años, España, China, Kirguistán y Argelia han dominado esta actividad, y muchas de las minas son propiedad nacional. La tabla 7.1 presenta información sobre la producción primaria mundial de mercurio registrada desde 1981. También existe minería artesanal de mercurio, de pequeña escala, en China, Rusia (Siberia), Mongolia Exterior, Perú y México. Es probable que esta producción satisfaga una sólida demanda local de mercurio, generalmente para la minería artesanal de oro<sup>8</sup>. Para que haya tal producción de mercurio pese a la oferta de mercurio

---

<sup>8</sup> En algunos países, como China, la minería artesanal del mercurio o del oro, o de ambos, es ilegal, pero la aplicación de la legislación varía en función de muchos factores locales.

barato en el mercado mundial es preciso que exista mineral de mercurio accesible y mano de obra barata.

*Tabla 7.1 Producción primaria mundial de mercurio desde 1981, en toneladas métricas/año*

Periodo	1981-1985	1986-1989	1990-1995	1996	1997	1998	1999	2000
Producción primaria global registrada (en toneladas métricas)	5500-7100	4900-6700	3300-6100	2600-2800	2500-2900	2000-2800	2100-2200	1800

Fuentes: Ver sección 7.2.1.

### **Pueden comercializarse grandes cantidades de mercurio reciclado**

542. Han estado llegando al mercado grandes cantidades de mercurio como consecuencia de la sustitución y suspensión de la producción cloroalcalina a base de mercurio en Europa y otras regiones. Los análisis de mercado indican que desde mediados de los años 1990 se han comercializado a escala mundial entre 700 y 900 toneladas métricas de mercurio reciclado por año (lo que corresponde a aprox. 30% de la producción primaria registrada), y la mayor parte proviene de plantas de producción cloroalcalina (véase la sección 7.3.1). Sin embargo, en la medida en que siga habiendo una demanda lícita de mercurio, su reutilización y reciclado reemplaza la extracción y fundición de mercurio virgen, que implicaría liberaciones adicionales y ocasionaría la movilización de mercurio nuevo en el mercado y en el medio ambiente.

543. La preferencia por la reutilización y el reciclado de mercurio con respecto a la extracción – especialmente en el contexto de la introducción de grandes cantidades de mercurio en el mercado– se ve complicada por la regla económica general de que una oferta excedentaria de mercurio abarata los precios en el mercado, lo que a su vez propicia más uso y más desecho de mercurio. Por eso se están adoptando ciertas precauciones, como se describe a continuación.

544. A partir de esta década crecerá enormemente la disponibilidad de mercurio por la conversión o clausura de plantas de cloro-álcali que todavía lo utilizan en sus procesos, ya que muchos países europeos<sup>9</sup> están promoviendo su eliminación paulatina de aquí a 2010. Tan sólo la Unión Europea podría introducir hasta 13.000 toneladas métricas de mercurio adicional en el mercado (lo que equivale a unos 6-12 años de producción de mercurio primario). Como respuesta a esta avalancha potencial de mercurio, Euro Chlor, que representa la industria cloroalcalina en Europa, ha firmado un acuerdo contractual con Minas de Almadén en España. El acuerdo estipula que Minas de Almadén comprará el excedente de las plantas de cloro-álcali de Europa occidental y lo colocará en el mercado, sustituyendo al mercurio que de otra forma Almadén habría extraído. En virtud de este acuerdo, todos los miembros de Euro Chlor de la UE venderán el excedente de mercurio a Almadén, y Euro Chlor considera que la mayoría de los productores de cloro de Europa central y oriental se comprometerán igualmente. Aunque el acuerdo constituye sin duda un esfuerzo de todas las partes para solucionar de forma responsable el problema del exceso de mercurio, hay quienes consideran que aún no existen controles adecuados para saber dónde se venderá y cómo se utilizará este mercurio.

545. Asimismo, grandes reservas de mercurio que guardan algunos gobiernos ya no son necesarias, y pueden ser objeto de venta ulterior en el mercado mundial, si las autoridades nacionales correspondientes lo autorizan. Esto sucede, por ejemplo, en los Estados Unidos, que tiene en inventario 4.435 toneladas métricas de mercurio. La venta de este mercurio fue suspendida en 1994, en espera de una determinación sobre su posible impacto en el medio ambiente y en el mercado. Sin embargo, antes de ello, la venta de algunas de estas reservas contribuyó significativamente al abastecimiento de mercurio en el mercado nacional estadounidense, y también se exportó. Las ventas del gobierno

<sup>9</sup> Incluyendo la mayoría de las Partes del Convenio para la Protección del Medio Marino del Atlántico Nordeste (OSPAR) y la Comisión para la Protección del Medio Marino del Mar Báltico (HELCOM). OSPAR recomienda una eliminación gradual del proceso de producción de cloro-álcali con celdas de mercurio en el territorio de las Partes. La mayoría de los países de OSPAR y HELCOM son Estados miembros de la Unión Europea.

estadounidense representaron entre 18 y 97% de la demanda nacional de mercurio en el periodo 1990-94 (US EPA, 1997; Maxson y Vonkeman, 1996).

### Usos del mercurio

546. Fascinante por ser el único metal líquido, el mercurio se conoce desde hace miles de años, y se utiliza en un gran número de productos y procesos que aprovechan sus singulares características. El mercurio es un excelente material para muchas aplicaciones porque es líquido a temperatura ambiente, es un buen conductor eléctrico, tiene densidad muy alta y alta tensión superficial, se expande/contrae uniformemente en toda su gama líquida respondiendo a cambios de presión y temperatura, y es tóxico para los microorganismos (incluso los organismos patógenos) y otras plagas.

#### Ejemplos de usos de mercurio

Como metal (entre otros):

- para extracción de oro y plata (durante siglos)
- como catalizador en la industria cloroalcalina
- en manómetros para medir y controlar la presión
- en termómetros
- en interruptores eléctricos y electrónicos
- en lámparas fluorescentes
- en las amalgamas dentales

Como compuestos químicos (entre otros):

- en baterías (como dióxido)
- biocidas en la industria del papel, pinturas o en semillas
- como antiséptico en productos farmacéuticos
- reactivos para análisis de laboratorio
- catalizadores
- pigmentos y colorantes (quizás uso muy antiguo)
- detergentes (quizás uso muy antiguo)
- explosivos (quizás uso muy antiguo)

547. Antiguamente se utilizaban bastante algunos compuestos orgánicos de mercurio, por ejemplo, en plaguicidas (sobre todo en el tratamiento de semillas) y biocidas, en algunas pinturas, productos farmacéuticos y cosméticos. Aunque muchos de estos usos se han reducido en algunas partes del mundo, los compuestos orgánicos de mercurio siguen utilizándose para diversos fines. Como ejemplo, tenemos en algunos países los tratamientos de semillas a base de compuestos de mercurio, el uso de dimetilmercurio en pequeñas cantidades como patrón de referencia para algunos análisis químicos, y del timerosal (que contiene etilmercurio), que se utiliza como conservador en algunas vacunas y otros productos médicos y cosméticos desde los años 1930. Al haber cada vez más conciencia de los posibles efectos perjudiciales del mercurio en la salud y el medio ambiente, el número de usos (de mercurio orgánico e inorgánico) así como la cantidad de mercurio utilizado han disminuido sustancialmente en muchos de los países industrializados, sobre todo durante las últimas dos décadas.

548. No obstante, las presentaciones recibidas para la Evaluación Mundial sobre el Mercurio han permitido confirmar que muchos de los usos eliminados en los países de la OCDE siguen vigentes en otras partes del mundo. Hay países en que algunos de estos usos se han prohibido o restringido rigurosamente dado sus efectos perjudiciales en los seres humanos y el medio ambiente. Además, aunque este capítulo ofrezca una idea general de la producción y uso del mercurio en todo el mundo, muestra también que es de vital importancia comprender mucho mejor los mercados y flujos mundiales del mercurio para poder evaluar la demanda, establecer las medidas adecuadas de prevención y reducción de la contaminación y vigilar los avances hacia el logro de objetivos específicos.

549. Partes del texto descriptivo de este capítulo se basa en la presentación recibida del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov).

## 7.2 Producción mundial

### 7.2.1 Producción de mercurio primario

550. La tabla 7.2 presenta estimaciones de la producción primaria mundial de mercurio, según el Servicio Geológico de Estados Unidos (US Geological Survey; USGS). Reese (1999) hace notar, sin embargo, que la mayor parte de los países no declaran su producción de mercurio, lo cual produce un alto grado de incertidumbre en las cifras de la producción mundial presentadas. Sznopek y Goonan (2000) citan otras estimaciones de la producción procedentes de Gobi International (1998). Para 1990, el USGS estimó la producción mundial en 4.100 toneladas métricas y Gobi International, en 5.356 toneladas métricas. Para 1996, el USGS informó de una producción de 2.795 toneladas métricas y Gobi, de 3.337 toneladas métricas. No se conocen las causas de esas diferencias, pero indican que las cantidades reales de producción pueden ser superiores a las presentadas en la tabla 7.2. También es posible que el mercurio reciclado, el mercurio recuperado como subproducto o la comercialización de reservas hayan contribuido a que uno de los conjuntos de cifras sea más elevado.

551. Lawrence (2000) estimó que, a nivel mundial, la cantidad de mercurio recuperado como subproducto podría alcanzar las 400 toneladas métricas.

552. En la Conferencia sobre el Mercurio realizada en Boston en mayo de 2002 bajo los auspicios de la *US EPA*, Lawrence (2002, citado por Estados Unidos; comm-24-gov) estimó la oferta actual al mercado mundial en unas 2.000 toneladas métricas, a saber, unas 1.000 por año provenientes de la extracción de mercurio virgen (incluyendo subproductos), y unas 1.000 de otras fuentes). En la situación actual de cifras de producción bajas (y posiblemente mal declaradas), esas estimaciones pueden ser sumamente inciertas.

### 7.2.2 Reciclado de mercurio

553. En las últimas décadas, el reciclado de mercurio ha desempeñado un papel importante en el mercado mundial. En 1982, la OCDE estimó que la producción secundaria podría alcanzar el 40% de la producción primaria (OECD, 1985). Masters (1997) señaló que cada año se reciclan en el mundo de 700 a 900 toneladas métricas (20.000-25.000 "frascos"<sup>10</sup>) de mercurio, de las cuales unas 200-400 toneladas métricas proceden de productos descartados que contienen mercurio y el resto, principalmente de instalaciones de cloro-álcali. Como se mencionó en la sección 7.2.1, según estimaciones recientes (Lawrence, 2002) es posible que hasta el 50% de la oferta mundial de mercurio provenga de fuentes secundarias (distintas de la extracción de mercurio virgen).

554. Se sabe que existe un gran "depósito" de mercurio almacenado en productos que todavía se usan o que están en los "estantes" de los usuarios. Si el mercurio de ese depósito se recogiera, reciclara y administrara debidamente, podría satisfacer las necesidades de la sociedad por muchos años. Se ha tratado de cuantificar esos depósitos de mercurio en Suecia, los Países Bajos y Dinamarca.

---

<sup>10</sup> Denominado así por el odre en que se comerciaba antiguamente el mercurio. Cada frasco (que en la actualidad es un recipiente de acero) contiene 34,5 kg de mercurio.

Tabla 7.2 Producción mundial estimada de mercurio primario (extraído de minas), en toneladas métricas, según el Servicio Geológico de Estados Unidos (Jasinski, 1994; Reese, 1997; 1999, o como se indique en la nota; reunión de datos según la presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov), y Hylander y Meili (2002) para el año 2000.

País	1981-1985 *1	1986-1989 *1	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Algeria	386-877	587-764	637	431	476	459	414	292	368	447	224	200	240
China	800	850-1200	1000	760	580	520	470	780	510	830	230	200	200
Finlandia *2	65-130	135-160	141	74	85	98	89	90	88	63	80	80	45
Kirguistán	-	-	-	-	300	1000	379	380	584	610	620	620	600
México	221-394	124-651	735	340	21	12	12	15	15	15	15	15	25
Rusia	-	-	-	-	70	60	50	50	50	50	50	50	-
Eslovaquia/Ch.	144-158	131-168	126	75	60	50	50	0	0	0	20	0	0
Eslovenia	-	-	-	-	7	?	6	0	5	5	5	0	0
España	1416-1560	967-1471	-	-	-	643	393	1497	862	863	675	600	237 *3
Tayikistán	-	-	-	-	100	80	55	50	45	40	35	35	40
Ucrania	-	-	-	-	100	50	50	40	30	25	20	-	-
EE.UU.	570-962	140-520	562	58	64	w	w	w	65	w	-	-	15
URSS	1600-1700	1500-1650	800	750	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yugoslavia	0-88	51-75	37	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Otros países	200-400	100-200	-	-	-	-	223	200	-	-	830	380	448
Totales de la actividad declarada (redondeados)	5500-7100	4900-6700	4000	2500	1900	3000	2200	3400	2600	2900	2800	2200	
Calculados por Hylander y Meili (2002)	5600-6100	6100-6600	6100	3700	3100	3000	2000	3300	2800	2500	2000	2100	1800

Notas y leyenda:

w No dado a conocer en las referencias

- No se aplica o no está disponible

/Ch Hasta 1992 como parte de Checoslovaquia

1 Referencia: Metallgesellschaft (1992), citado por la OCDE (OECD, 1994). Los totales de esta referencia para 1990 y 1991 eran 400-900 toneladas métricas más altos que los totales del USGS presentados.

2 Las cifras de Finlandia para 1990-1997 proceden del Instituto del Medio Ambiente de Finlandia (Finnish Environment Institute, 1999).

3 España ha declarado una producción en 2000 de 237 toneladas métricas de las minas de mercurio españolas.

555. En 1996, el reciclado de mercurio en Estados Unidos, por sí sólo, representó una cantidad mayor que la declarada de uso industrial en ese mismo país (372 toneladas métricas), y casi en la misma gama que la cantidad que entró en diversas aplicaciones (417 toneladas métricas; fuente: Sznoppek y Goonan, 2000). Las cantidades de reciclado declaradas aumentaron constantemente desde unas 100 toneladas métricas en 1990 hasta unas 400 toneladas métricas en 1996/97 (US EPA, 1997; USGS en www.usgs.gov; en este informe no se examinan las últimas tendencias).

556. Rauhaut (1996) cuantificó el mercurio reciclado en Alemania en el período 1972-1993. En los años 1986-1993 (cuyo consumo figura en la referencia), las cantidades de mercurio regenerado para reciclar en ese país equivalían a 3-53% del consumo nacional de mercurio. Durante ese período, el reciclaje aumentó ligeramente (de 7 toneladas métricas en 1986 a 36 toneladas métricas en 1993), mientras que el consumo en Alemania disminuyó de 222 toneladas métricas en 1986 a 67 toneladas métricas en 1993. El reciclaje alcanzó un máximo de 205 toneladas métricas/año a fines de la década de 1970. Es posible que la baja del consumo y la caída de los precios del mercurio hayan contribuido a la disminución del reciclaje en Alemania a partir de la década de 1970 (Rauhaut, 1996).

557. En los años 1992-93, Dinamarca envió a reciclar al exterior un promedio de 3,5-4 toneladas métricas de mercurio por año (Maag *et al.*, 1996).

558. En los Países Bajos, se recuperaron/reciclaron 93 toneladas métricas de mercurio en 1995, incluyendo 2 toneladas de residuos procedentes de amalgamas dentales de ese país, 6 toneladas de mercurio procedente de residuos/lodos de gases, y 85 toneladas procedentes de residuos/lodos importados (Maxson y Vonkeman, 1996; Annema *et al.*, 1995; DHV, 1996). Cabe señalar que recuperar mercurio, por ejemplo, de lodos de gases, no es lo mismo que reciclar mercurio usado en productos; es más bien un tratamiento de residuos procedentes de la extracción de recursos. Se lo comercializa en forma semejante al mercurio que se genera como subproducto durante la minería de oro o zinc.

559. En una evaluación del mercurio contenido en los desechos en Francia, se estimó que el mercurio reciclado en ese país ascendía solamente a unas 2,8 toneladas métricas/año. Sin embargo, en esa evaluación no se incluyeron los residuos potencialmente considerables de la producción de cloro-álcali, contactos eléctricos y laboratorios (Groupe de travail de l'AGHTM, 1999).

560. Suiza recupera alrededor de 15 toneladas métricas/año de mercurio reciclado (presentación de Suiza, sub38gov).

### 7.2.3 Niveles de precios del mercurio metálico

561. Según los *Mineral Yearbooks* del Servicio Geológico de Estados Unidos de varios años (Reese, 1997; 1999, y otros), los precios del mercurio metálico (es decir, los precios de venta cotizados por los corredores a sus clientes) fluctuaron de manera bastante espectacular a comienzos de la década de 1990, alcanzando un promedio de US\$190 por frasco durante el período 1990-1996 (rango de US\$122-262). Como un frasco equivale a 34,5 kg, el precio promedio por kilo en ese momento era de US\$5,5. Durante los años 1997-2000, el precio de mercado se mantuvo estable en torno a los US\$140-160 por frasco (promedio de US\$148/frasco o US\$4,3/kg). Los precios de mercurio más altos del siglo XX rondaron los US\$500/frasco en la segunda mitad de la década de 1960. Tras ajustarlos para tener en cuenta la inflación en Estados Unidos, los precios de mercado en 1998 fueron sólo la décima parte aproximadamente de los precios de fines de la década de 1960. (Scoullou *et al.*, 2000).

## 7.3 Pautas de uso actual

### 7.3.1 Consumo mundial

562. El consumo mundial equivale a la cantidad de mercurio obtenido de las fuentes que se enumeran en la sección 7.1 para usuarios finales y consumidores, corregida para tener en cuenta cambios en los stocks intermedios. No se dispone de datos precisos sobre el consumo mundial total y su repartición por países y aplicaciones. En diversos países en desarrollo, gran parte del mercurio se usa en forma no tradicional – principalmente en minería artesanal de oro y plata a pequeña escala - y, por lo tanto, no entra en la compilación clásica de las estadísticas económicas. Sin embargo, es posible que ése sea uno de los mayores usos que se da al mercurio a escala mundial. Por lo tanto, las estimaciones de las cantidades totales de mercurio que se usan en el mundo se deben basar en parte en cálculos inciertos hechos a partir de datos muy incompletos. Los datos empleados en los países de la OCDE son más precisos; sin embargo, como el mercado en esos países se ha reducido al aumentar el examen crítico del público, esa información está disminuyendo en importancia relativa y se está haciendo menos confiable.

563. Los datos de consumo nacional que se recibieron figuran en la tabla 7.3. Muchos gobiernos no enviaron datos de consumo, a pesar de que sus presentaciones indicaban consumo de mercurio en un número de aplicaciones y usos. En los casos en que no se recibieron datos de consumo reales, se presentan aquí datos sobre importaciones y/o producción como indicadores aproximados de niveles de consumo. Sin embargo, es preciso señalar que los datos sobre importaciones y producción no siempre reflejan niveles de consumo, ya que puede haber otros factores que incidan en las cifras. Sería útil

disponer de un análisis más minucioso de esos aspectos, pero no se pudo hacer para este informe debido a limitaciones de tiempo y recursos.

*Tabla 7.3 Datos nacionales presentados sobre el consumo de mercurio (o datos sobre importaciones y producción, si no se dispone de datos sobre el consumo). Obsérvese que las suposiciones básicas y la calidad de los datos en que se basan estas cifras varían y no todas las contribuciones se declaran en todos los casos. Toneladas métricas/año, salvo indicación contraria.*

<b>País</b>	<b>Consumo (o importación) anual declarado/a Toneladas métricas/año, salvo nota contraria</b>	<b>Año(s)</b>	<b>Referencia</b>
Australia	>30 toneladas de mercurio metálico importado + 5 toneladas producidas como subproducto + 4 toneladas de compuestos de mercurio importados	1996	Presentación nacional, sub63gov
Canadá	2,8-2,9 toneladas de consumo de mercurio metálico (de 9,4-11,4 toneladas importadas)	1998-1999	Presentación nacional, sub42gov
Dinamarca	1,5 toneladas de consumo total (incluyendo mercurio en productos, nacionales e importados)	2000/2001	Presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov
Finlandia	Aprox. 10 toneladas de consumo (mercurio obtenido como subproducto, véase la tabla 7.2)	1991	Presentación nacional, sub44gov
Francia	45 toneladas de importaciones netas promediadas a lo largo de 3 años (2, 112 y 20 toneladas respectivamente)	Promedio de 1998, 1999 y 2000 (cantidad de cada año entre paréntesis)	Comentarios de Francia, comm-10-gov
India	170-190 toneladas de mercurio metálico importado	No mencionado (se supone que la estimación es relativamente reciente)	Presentación nacional, sub71govatt1
Noruega	0,8-1,4 toneladas de consumo de mercurio en productos solamente; consumo adicional en forma de mercurio metálico	1995/1999	Presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov
Perú	30-45 toneladas de mercurio metálico importado + 19-48 toneladas generadas como subproducto + pequeña importación de compuestos	1998-2000	Presentación nacional, sub47gov
Filipinas	55,658 toneladas de mercurio metálico importado 26,169 toneladas de mercurio metálico importado 19,100 toneladas de mercurio metálico	1999 2000 2001	Oficina Nacional de Estadísticas, Oficina de Fomento del Comercio de Exportación, DTI Filipinas (comm-4-gov)
Suecia	2 toneladas de consumo de mercurio en productos solamente; consumo adicional como mercurio metálico	1997	Presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov
Suiza	30 toneladas de importación (estimación incierta)	“Fines de la década de 1990”	Presentación nacional, sub38gov
Tailandia	12,1 toneladas de mercurio metálico importado 17,2 toneladas de mercurio metálico importado 5,8 toneladas de mercurio metálico importado (la mayoría para la producción de lámparas fluorescentes y una pequeña cantidad para odontología y análisis de laboratorio)	2000 2001 Enero-junio 2002	Presentación nacional, sub53gov, <a href="http://www.customs.go.th">www.customs.go.th</a> (2805.40)

País	Consumo (o importación) anual declarado/a Toneladas métricas/año, salvo nota contraria	Año(s)	Referencia
Turquía	4,5 toneladas “de mercurio y sus compuestos, importados”	2000-2001	Presentación nacional, sub34gov
EE.UU.	372 toneladas de consumo, incluyendo mercurio en productos fabricados en Estados Unidos (no importaciones)	1996	Sznopek y Goonan, 2000

564. Con respecto a la distribución geográfica del consumo mundial de mercurio, Scoullon *et al.* (2000) citan a Lawrence (1994) acerca de la información presentada en la tabla 7.4 sobre el consumo mundial de mercurio y su distribución en diversos países y regiones.

Tabla 7.4 *Estimaciones del consumo mundial de mercurio en 1993 en toneladas métricas, según Lawrence (1994).*

País/región	Consumo
CEI	1.379
EE.UU.	558
Europa	448
República Popular de China	345
India	345
Irán *	414
Otros	345
Total	3.834

CEI – Comunidad de Estados Independientes (ex Unión Soviética menos Estados del Báltico).

\* Según Hylander (2001), el gran consumo de Irán en 1993 se debió a la reanudación del funcionamiento de una planta de cloro-álcali destruida en la guerra. El consumo no fue tan grande otros años.

### Distribución mundial estimada del consumo de mercurio, por regiones y usos

565. Sznopek y Goonan (2000, citados en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov) han elaborado estimaciones de la probable distribución del consumo mundial de mercurio entre las distintas regiones y usos. Según ese análisis, los países industrializados todavía son de lejos los principales usuarios de mercurio, lo cual concuerda con las cifras presentadas por Lawrence en la tabla 7.4.

566. La tabla 7.5 presenta una estimación de la distribución del consumo mundial de mercurio por grupo de aplicaciones. Considerada conjuntamente con la tabla 7.4, esta tabla muestra que Europa occidental y América del Norte representaron alrededor del 60% del mercurio consumido en la producción mundial de cloro-álcali, si bien esas cifras fueron extrapoladas de las tasas de consumo de esa industria en Estados Unidos a principios de la década de 1990 y ya no dan una idea realista de la situación actual. Según los datos declarados por la industria a sus respectivos gobiernos, las instalaciones de cloro-álcali de Estados Unidos y la región del OSPAR<sup>11</sup> (para más detalles, consúltese la sección 9.3.2 relativa al OSPAR) consumieron en 1999/2000 alrededor de 170 toneladas métricas de mercurio por año, a saber: 28 toneladas métricas en Estados Unidos y 145 toneladas métricas en los

<sup>11</sup> Los países miembros del OSPAR son Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Islandia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, el Reino Unido, Suecia y Suiza, aunque Dinamarca y Luxemburgo no tienen plantas de cloro-álcali, e Irlanda y Noruega no utilizan el método de la celda de mercurio. De los Estados miembros de la Unión Europea, sólo Austria, Grecia e Italia no son Partes del Convenio OSPAR.



países del OSPAR. Según diversos informes de otras partes del mundo, el consumo total de mercurio por la industria de cloro-álcali en el resto del mundo es considerablemente mayor<sup>12</sup>.

567. Europa occidental, América del Norte y Asia sudoriental juntas representaron alrededor del 80% de la cantidad mundial de mercurio utilizado en la fabricación de productos. Los cálculos sobre la fabricación de productos se consideran solamente indicativos (en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov), ya que se basan en pautas de consumo de Estados Unidos que datan de 1990 y 1996, y la hipótesis de que el consumo se puede describir como una función de "sofisticación económica". Es decir, que las cifras no se basaron en observaciones reales del consumo de mercurio en la fabricación de productos en otros países además de Estados Unidos.

568. Por último, como se menciona en las notas de la tabla 7.5, el consumo de mercurio para la extracción de oro en esa tabla se estimó sólo para Brasil. Las notas dan una indicación de la magnitud del consumo mundial.

*Tabla 7.5 Estimación del consumo mundial de mercurio por categoría de aplicación en 1990 y 1996 respectivamente, según Sznoppek y Goonan (2000), como figura en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov).*

<b>Categoría de aplicación</b>	<b>1990</b>	<b>1996</b>
Producción de cloro-álcali	2003	1344 *3
Uso en productos	1818	1061
Minería de oro a pequeña escala en Brasil*1	200	100
Adición a reservas *2	1335	832
<b>Total</b>	<b>5356</b>	<b>3337</b>

- Notas: 1 Las liberaciones mundiales de mercurio (obviamente relacionadas con la producción de oro, que a su vez se relaciona con la demanda de oro) procedentes de la minería de oro a pequeña escala, se estimaban en hasta 460 toneladas métricas por año a fines de la década de 1980 y comienzos de la de 1990 (Lacerda, 1997a). El consumo mundial de mercurio en 1996 se estimaba en 350-450 toneladas métricas por año (Maxson y Vonkeman, 1996 – citado por Scoullos *et al.*, 2000). En una estimación más reciente, el consumo mundial de mercurio en minería a pequeña escala se cifró en 500 toneladas métricas como mínimo, posiblemente 1.000 toneladas métricas por año<sup>13</sup>.
- 2 Sznoppek y Goonan supusieron que esta categoría incluye también cantidades de uso desconocido ("categoría de compensación" en el cálculo del balance mundial del mercurio).
- 3 Las estimaciones recientes del consumo mundial de mercurio de la industria de cloro-álcali (nótese que el consumo no equivale a las emisiones) son significativamente inferiores, como se indica en párrafos precedentes. Véase asimismo la sección 7.4.1.

### 7.3.2 Usos del mercurio

569. La tabla 7.6 da una visión general de las aplicaciones intencionales del mercurio que se han identificado y la información disponible sobre su uso actual. Las aplicaciones señaladas como de uso

<sup>12</sup> Cabe señalar que las cifras relativas al "consumo" de mercurio en la producción de cloro-álcali no deben considerarse equivalentes a liberaciones al medio ambiente, porque parte del "consumo" de mercurio (es decir, compras corregidas para tener en cuenta el cambio de inventario) en última instancia se puede recuperar de los residuos de lodos durante las operaciones normales, de los equipos y estructuras de instalaciones durante trabajos de mantenimiento importantes y, especialmente, cuando se retiran del servicio las celdas de mercurio (véase asimismo la sección 7.3.2). Sin embargo, preocupa que en algunos países esa recuperación sea inadecuada.

<sup>13</sup> *MMSD* ("Case studies," 2002) calculó una producción mundial de las minas de oro en 2000 de 2.574 toneladas métricas y estimó que 20% de esa cantidad proviene de mineros pequeños y artesanales, la mayoría de los cuales utilizan para recuperar el oro un proceso a base de mercurio. Ese cálculo concuerda con la estimación de la Gold Fields Mineral Service Limited (World Gold Production, 1998) de una producción mundial de oro por mineros artesanales de 500 a 800 toneladas. Como los mineros artesanales utilizan un promedio de uno a dos kilogramos de mercurio por cada kilogramo de oro que producen (Lacerda, 1997b), cabe pensar que se estén usando por lo menos 500 y posiblemente 1.000 toneladas por año de mercurio en la producción de oro en el mundo. Si se incluyera la minería artesanal de plata, la estimación del uso de mercurio sería considerablemente más alta.

“general” en la tabla fueron mencionadas en muchas de las presentaciones, así como en estudios recientes. En las aplicaciones que difieren del patrón general o que se consideraron en gran parte abandonadas, los países que las mencionan se enumeran en la tabla. En algunas aplicaciones, la mejor indicación disponible acerca del uso actual es la información que se presentó acerca de prohibiciones y restricciones (véase la tabla 7.7). Cuando se sabe que una aplicación existió en el pasado pero su uso actual no fue confirmado en las presentaciones, se indica “no se ha confirmado que este uso en la actualidad”. Por último, en el caso de algunas aplicaciones se incluyeron ciertas indicaciones sobre el uso actual, más inciertas, basadas en conocimientos previos de los autores.

570. Es importante observar que esta lista de usos indica también dónde buscar fuentes de mercurio en el ámbito nacional o local; por ejemplo, cuando se trate de detectar y reducir o eliminar determinadas fuentes de mercurio en los distintos medios ambientales, los desechos o las aguas residuales. Todos esos usos producen liberaciones de mercurio en una o varias etapas del ciclo de vida, a saber: la extracción, fabricación de productos, uso, eliminación, recuperación y transporte intermedio.

571. Es importante seguir estudiando las pautas de uso a nivel nacional y mundial; por ejemplo, para evaluar mejor las pautas de consumo mundial de mercurio, como base para posibles proyectos internacionales. Sin embargo, ello no ha sido posible debido a las limitaciones de tiempo y recursos sufridas en esta etapa del proceso de evaluación del mercurio realizada por el PNUMA.

572. Las tablas 7.8 y 7.9 de la sección 7.3.3 muestran las contribuciones de los distintos usos en relación con el consumo total de mercurio en dos países.

*Tabla 7.6 Aplicaciones del mercurio e indicaciones acerca de su uso actual.  
(En esta tabla se intenta reflejar la situación actual en los países mencionados, pero no debe considerarse exhaustiva ni completa.)*

<b>Aplicación</b>	<b>Indicaciones sobre el uso actual</b>
<b>Producción de cloro-álcali (cloro y soda cáustica)</b>	General
<b>Amalgamas dentales</b>	General
<b>Minería artesanal de oro y plata</b>	Australia, Burundi, Brasil, Burkina Faso(?), China, Costa Rica, Colombia, Costa de Marfil (?), Ecuador, Filipinas, Ghana, Guayana Francesa, , Indonesia, Mongolia, Panamá, Papúa New Guinea, Perú, Rusia, Tanzania, Venezuela, Vietnam, Zimbabwe
<b>Pilas y baterías</b>	En uso, pero prohibido o restringido en muchos países
<b>Instrumentos de medición y control</b>	Véase más adelante.
Termómetros médicos	General, pero prohibido o restringido en algunos países
Otros termómetros (control de máquinas marinas, laboratorios)	General, pero prohibido o restringido en algunos países
Instrumentos para medir la presión sanguínea (esfigmomanómetros)	General, pero prohibido o restringido en algunos países
Manómetros industriales y meteorológicos	Lo más probable es que sea general, pero prohibido o restringido en algunos países
Válvulas de presión (calefacción central, industria)	Prohibido o restringido en algunos países
Giróscopos	Prohibido o restringido en algunos países
<b>Interruptores eléctricos y electrónicos</b>	Prohibido o restringido en algunos países
Conmutadores de control de nivel (bombas de alcantarillado, timbres de puerta, señales de ferrocarril, portezuelas de maleteros de automóviles, refrigeradores, congeladores, alarmas de caídas de ancianos, etc.)	Prohibido o restringido en algunos países
Interruptores multipolares (por ejemplo, para excavadoras)	Prohibido o restringido en algunos países

<b>Aplicación</b>	<b>Indicaciones sobre el uso actual</b>
Interruptores microelectrónicos con contactos de mercurio	Muy probablemente general
Interruptores térmicos	Prohibido o restringido en algunos países
Interruptores en calzado deportivo con luz en la suela	Prohibido o restringido en algunos países
<b>Lámparas de descarga luminosa</b>	General
Lámparas fluorescentes	General
Otras lámparas con mercurio	General
<b>Productos químicos, electrodos y aparatos analíticos de laboratorio</b>	General
<b>Plaguicidas (tratamiento de semillas y/o otros)</b>	Australia, Belarús, Benin (no especificado), Burkina Faso (no especificado), Costa de Marfil, Ghana, Guinea (no especificado), India (no especificado), Irlanda
<b>Biocidas para diferentes productos y procesos</b>	Camerún (producción industrial no especificada), Irlanda
Pinturas (pinturas a látex y posiblemente otras)	Australia, Ghana, Guinea, India, Irlanda, Samoa, Tailandia (sustitución en curso), Trinidad y Tobago (sustitución en curso o terminada recientemente).
<b>Fungicidas para la producción de papel</b>	Marruecos,
<b>Productos farmacéuticos (funciones biocidas o sistémicas)</b>	República Checa (no especificado), Ghana (no especificado), India, Australia (no especificado y para caballos), Suiza
Conservadores de vacunas	En uso
Conservadores en gotas oftálmicas	Muy probablemente todavía en uso
Desinfectantes; por ejemplo, en hospitales	Burkina Faso (no especificado)
Medicinas a base de hierbas, medicinas “caseras”, “farmacias de la calle”	India (algunas medicinas a base de hierbas), Lesotho (mercurio metálico)
<b>Compuestos catalizadores de mercurio</b>	India
Catalizadores para la producción de poliuretano y otros polímeros	Finlandia, Australia, Irlanda
Catalizadores en la producción, a base de acetileno, de monómeros de cloruro de vinilo, acetato de vinilo y acetaldehído	(Antes se usaba en numerosas fábricas de todo el mundo). No se ha confirmado si se continúa usando para esos fines.
<b>Cosméticos (cremas, jabones)</b>	Benin (no especificado), Irlanda (no especificado)
Cremas y jabones para aclarar la piel	De uso común; restringido en algunos países
Biocidas en cosméticos para los ojos	Posiblemente en uso; restringido en algunos países
<b>Faros (usos náuticos; estabilización de lentes)</b>	Canadá (posiblemente general – mencionado en la literatura)
<b>Falsificación de dinero</b>	Camerún (no hay detalles sobre el uso de mercurio en este proceso)
<b>Ceremonias religiosas, actividades “supersticiosas”</b>	EE.UU. y posiblemente regiones del Caribe (US ATSDR, 1999), Lesotho
<b>Pigmentos</b>	No se ha confirmado este uso en la actualidad.
<b>Curtido</b>	Irlanda
<b>Pavonado y grabado de acero</b>	Irlanda
<b>Papel para fotos a color</b>	Australia
<b>Explosivos, fuegos artificiales</b>	No se ha confirmado este uso en la actualidad.
<b>Activadores de bolsas de aire y sistemas de freno antibloqueo (ABS) de automóviles</b>	No se ha confirmado este uso en la actualidad.
<b>Producción artesanal de diamantes</b>	Guinea (“para limpiar piedras y mejorar calidad física”)
<b>Amortiguadores del retroceso de los rifles</b>	Irlanda

Aplicación	Indicaciones sobre el uso actual
<b>Vendas para brazos y piernas (por ejemplo, para el “codo de tenista”)</b>	Irlanda
<b>Juguetes para ejecutivos</b>	Irlanda
<b>Material de revestimiento para pistas de carrera en estadios deportivos (pistas “tartán”)</b>	Se usaba antes en Suiza.
<b>Municiones</b>	Se usaba antes en Suiza.

*Tabla 7.7 Información sobre medidas nacionales, tanto reglamentarias como voluntarias, destinadas a eliminar o restringir los usos de mercurio presentados en la tabla 7.6 (procedente de un apéndice de este informe, titulado “Recuento de acciones nacionales presentes y futuras, incluida la legislación, relativas al mercurio” (Overview of existing and future national actions, including legislation, relevant to mercury)).*

Aplicación	Importación, venta y/o uso prohibido o restringido a nivel nacional (véase apéndice)
<b>Producción de cloro-álcali (cloro y soda cáustica)</b>	Japón
<b>Extracción de oro</b>	Brasil, China, Filipinas
<b>Productos que contienen mercurio en general (con algunas excepciones)</b>	Dinamarca, Suecia, Suiza
<b>Amalgamas dentales</b>	Dinamarca, Francia, Nueva Zelandia, Noruega, Suecia, Suiza
<b>Pilas y baterías</b>	Canadá, China, Estonia, países de la Unión Europea*, Hungría, Mauricio, Noruega, República Eslovaca, Suiza, Turquía, EE.UU.
Pilas de óxido de mercurio	Países de la Unión Europea*, Japón
Pilas alcalinas	Canadá, países de la Unión Europea*
Otras pilas (óxido de zinc, óxido de plata, principalmente en formato de pilas botón)	Canada, países de la Unión Europea*
<b>Instrumentos de medición y control</b>	Suecia (en general)
Termómetros médicos	Canadá, Dinamarca, Francia, Noruega, Suecia,
Otros termómetros (control de máquinas marinas, laboratorios)	Dinamarca, Suecia
Instrumentos para medir la presión sanguínea	
Manómetros industriales y meteorológicos	Dinamarca
Valvulas de presión (calefacción central, industria)	Dinamarca
Giróscopos	Dinamarca
<b>Interruptores eléctricos y electrónicos</b>	Dinamarca, Suecia, Suiza
Conmutadores de control de nivel (bombas de alcantarillado, timbres de puerta, señales de ferrocarril, portezuelas de maleteros de automóviles, refrigeradores, congeladores, alarmas de caídas de ancianos, etc.)	Dinamarca, Suecia
Interruptores multipolares (por ejemplo, para excavadoras)	Dinamarca
Interruptores microelectrónicos con contactos de mercurio	
Interruptores térmicos	Dinamarca
Interruptores en calzado deportivo con luz en la suela	Dinamarca
<b>Lámparas de descarga luminosa</b>	
Lámparas fluorescentes	Canadá, Suecia, países de la Unión Europea* a partir del 1º de julio de 2006

<b>Aplicación</b>	<b>Importación, venta y/o uso prohibido o restringido a nivel nacional (véase apéndice)</b>
Otras lámparas de mercurio	Dinamarca, Suecia
<b>Productos químicos, electrodos y aparatos analíticos de laboratorio</b>	Dinamarca, Suecia
<b>Plaguicidas</b>	
Tratamiento de semillas y/o otros usos agrícolas	Armenia, Burundi, Canadá, China, Colombia, Cuba, República Checa, países de la Unión Europea*, Hungría, Japón, Latvia, Lesotho, Lituania, Mauricio, Noruega, Samoa, Suiza, Tanzania, EE.UU.
<b>Biocidas para diferentes productos y procesos</b>	Dinamarca, Japón, Suecia, Suiza
Pinturas (pinturas de látex y posiblemente otras)	Camerún, Costa Rica, países de la Unión Europea*, Japón, Noruega, Suiza, EE.UU.
<b>Conservación de madera</b>	Unión Europea*, Noruega
<b>Productos farmacéuticos (funciones biocidas o sistémicas)</b>	Austria, Canadá, Costa Rica, Dinamarca, Japón, Mauricio, Suecia, Suiza, EE.UU.
Conservadores de vacunas	
Conservadores en gotas oftálmicas	
Desinfectantes; por ejemplo, en hospitales	Dinamarca
Medicinas a base de hierbas, medicinas “caseras”, “farmacias de la calle”	Dinamarca
<b>Compuestos catalizadores de mercurio</b>	
Producción de poliuretanos **y otros polímeros	
<b>Cosméticos (cremas y jabones)</b>	China, países de la Unión Europea*, Noruega
Crema y jabones para aclarar la piel	Camerún, Dinamarca, EE.UU., Zimbabue
Biocidas en cosméticos para los ojos	
<b>Falsificación de dinero</b>	
<b>Ceremonias religiosas y actividades llamadas “supersticiosas”</b>	
<b>Pigmentos</b>	Dinamarca
<b>Explosivos, fuegos artificiales</b>	Dinamarca
<b>Activadores de bolsas de aire y sistemas de freno antibloqueo (ABS) de automóviles</b>	Países de la Unión Europea*
<b>Producción artesanal de diamantes</b>	
<b>Embalajes y desechos de embalajes</b>	Países de la Unión Europea*, Noruega

Nota - \* Esto implica que existe legislación de la Comunidad Europea que se aplica a todos los Estados miembros de la UE, a saber, Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, España, Suecia y el Reino Unido.

### 7.3.3 Ejemplos de distribución del consumo nacional según diversos usos, a lo largo de los años

Tabla 7.8 Consumo de mercurio (toneladas métricas/año) en aplicaciones deliberadas en Dinamarca, en la actualidad y hace 10 y 20 años (según descrito en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov).

Año/uso	1982/83 *1	1992/93 *1	2000/2001 *1
Producción de cloro-álcali	3,00	2,50	0
Amalgamas dentales	3,1	1,80	0,9
Pilas de óxido de mercurio	2,40	0,36	0
Otras pilas y baterías	2,30	0,28	0 *2
Instrumentos de medición y control	0,53	0,50	0,3
Interruptores eléctricos y electrónicos	0,34	0,30	0 *2
Fuentes de luz (lámparas)	0,14	0,17	0,17
Termómetros médicos	0,75	0,05	0
Otros termómetros	1,55	0,10	0
Productos químicos de laboratorio	0,50	0,09	0,09
Otros usos intencionales	1,48	0,03	0,03
Total, usos intencionales	16,09	6,18	1,5

Notas:

- 1 Comprende el mercurio de importaciones netas de productos. Las cifras de 1982/83 proceden de Hansen (1985) y las de 1992/93, de Maag *et al* (1996). Las cifras de 2001 son estimaciones aproximadas basadas en conocimientos previos e información acerca de la eliminación del uso de mercurio al prohibirse en Dinamarca, según Heron (2001) y Maag, que figuran en la presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov.
- 2 Una cierta cantidad de mercurio puede estar presente en pilas botón y en microinterruptores de algunos tipos de aparatos electrónicos.

Tabla 7.9 Consumo declarado \*1 de mercurio en Estados Unidos en 1990 y 1996 (toneladas métricas/año; Jasinski, 1994, y Sznopek y Goonan, 2000). \*3

Aplicación	1990	1996
Odontología	44	31
Laboratorio	32	20
Dispositivos de medición y control	108	41
Dispositivos de cableado e interruptores	70	49
Iluminación eléctrica	33	11
Pinturas	14	0
Pilas y baterías	105	0
Producción de cloro-álcali *2	247	136
Otros	58	84
Total	711	372

- Notas:
- 1 Las importaciones y exportaciones de mercurio incorporado en diversos productos no fueron incluidas en estas cifras, salvo en el caso de dispositivos de cableado e interruptores, que pueden tener cierta importancia para el balance real de materiales. Sznopek y Goonan (2000) consideran que las importaciones y exportaciones son aproximadamente equivalentes o insignificantes.
  2. La industria informó que el consumo de mercurio en el sector del cloro y la soda cáustica de Estados Unidos durante 2001 fue de 28 toneladas métricas (31 toneladas cortas), una disminución de 75% con respecto a los niveles de consumo registrados durante 1990-96.
  3. Para información actualizada y más detallada sobre el uso y movilización de mercurio, consúltese Stone (2002).

## 7.4 Cuestiones sobre producción cloroalcalina y extracción de oro

### 7.4.1 Producción de cloro-álcali y mercurio residual

573. La producción de cloro y soda cáustica es una de las actividades en que se usa más mercurio en forma intencional en el mundo (Sznoppek y Goonan, 2000; véase la sección 7.3.1), si bien los sistemas de control de emisiones y, en particular, el cierre de instalaciones o su conversión a tecnologías que no utilizan mercurio han producido una disminución constante del consumo y las liberaciones de mercurio en este sector industrial. En uno de los tres procedimientos comunes de la producción de cloro-álcali – el método de la celda de mercurio – grandes cantidades de este metal se usan como cátodo líquido en la electrólisis. El proceso libera mercurio al medio ambiente en emisiones atmosféricas, agua, hidróxido de sodio (NaOH) y productos de hidrógeno<sup>14</sup>, así como desechos líquidos y sólidos que contienen mercurio, los cuales, en algunos países, se eliminan cuidadosamente (recuperación de mercurio, vertederos de desechos peligrosos), y en otros, no tan cuidadosamente (en el sitio de producción, vertedero normal). Parte del mercurio contenido en los desechos sólidos se recupera y recicla en el proceso de producción – a menudo de manera integrada *in-situ*. Sin embargo, a menudo es necesario añadir mercurio periódicamente al proceso, a fin de compensar las pérdidas. Por fin, cuando las instalaciones de celdas de mercurio se cierran o se convierten a un procedimiento sin mercurio, es posible recuperar grandes cantidades de ese metal de las estructuras y equipos utilizados en aquel procedimiento.

574. En las últimas décadas, las liberaciones de las plantas de cloro-álcali a base de mercurio que aún quedan en Europa occidental y Estados Unidos se han reducido considerablemente, gracias a los esfuerzos realizados para limitar la contaminación en un continuo diálogo entre las autoridades ambientales, las organizaciones internacionales y la industria. Se ha encontrado poca información sobre mejoras similares que se estén haciendo en otros lugares del mundo. Incluso después de esas mejoras, el uso de mercurio en la producción de cloro-álcali sigue siendo una fuente importante de liberaciones de mercurio al medio ambiente. Según datos suministrados por la industria e indicados en el Inventario de Liberaciones Tóxicas de Estados Unidos (US Toxic Release Inventory) para 2000 (US EPA TRI Explorer report for chemicals facilities SIC 28, disponible en el sitio web <http://www.epa.gov>), y las Partes del Convenio para la Protección del Medio Marino del Atlántico Nordeste para 1999 (OSPAR, 2001b), las emisiones totales (no incluyendo el mercurio que contienen los desechos) provenientes de esos dieciséis países (que en conjunto representan aproximadamente 62% de la capacidad mundial de producción de cloro-álcali con celdas de mercurio) alcanzaron unas 16 toneladas métricas por año durante 1999/2000. Se dispone de datos menos detallados sobre otras regiones, como se menciona más adelante.

575. He aquí un primer ejemplo. Qi *et al.* (2000) informaron que las liberaciones de mercurio (incluyendo el mercurio contenido en los desechos – no se indica cómo se trataron esos desechos) procedentes de plantas de cloro-álcali de China disminuyeron considerablemente desde los 500-1400 g de mercurio/tonelada de hidróxido de sodio producido antes de 1977, a 160-180 g de mercurio/tonelada de hidróxido de sodio producido en 1997, pero todavía eran mucho más altas que las de otros países. En particular, esas liberaciones que ocurrieron en China en 1997 eran más de 4 veces mayores por tonelada de producción que las emisiones de OSPAR (incluyendo residuos de mercurio, que se almacenaban o trataban de acuerdo con la legislación vigente) en ese momento. Sin embargo, en la mayoría de las plantas de cloro-álcali de China se utiliza el proceso de diafragma, sin mercurio, y en la presentación (Qi *et al.*, 2000) se mencionaron planes para convertir o cerrar las pocas instalaciones de producción de cloro-álcali con celdas de mercurio que todavía quedan en China (conocemos sólo una, propiedad de la Tianjin Chemical Company, con una capacidad de 50.000 toneladas métricas de cloro por año).

---

<sup>14</sup> En instalaciones mal administradas, el mercurio contenido en el hidrógeno sin tratar (a menudo enviado como combustible a centrales eléctricas *in-situ*) ha sido una fuente importante de liberación de mercurio a la atmósfera en la producción de cloro-álcali, mientras que la contaminación del NaOH con mercurio tiende a ser de poca importancia.

576. Para dar un segundo ejemplo, la presentación de México indicó que las liberaciones de mercurio de las plantas de cloro-álcali con celdas de mercurio de ese país (tres sitios identificados, con una capacidad de unas 170.000 toneladas métricas de cloro por año) también son considerablemente mayores que las de plantas similares de Estados Unidos.

577. Existe una tecnología adecuada y más limpia para producir cloro y soda cáustica sin emplear mercurio, el proceso de membrana, fácil de conseguir y de uso generalizado en todo el mundo. Se utiliza también una tercera tecnología, el proceso de diafragma, pero se considera algo menos ventajoso que el proceso de membrana. Scoullou *et al* (2000), EIPPCB (2000) y Lindley (1997) hacen descripciones y análisis completos del procedimiento de producción de cloro-álcali con celdas de mercurio y sus consecuencias.

578. Según las estadísticas mundiales sobre la capacidad de producción de cloro-álcali (véase la tabla 7.10), las regiones de Europa occidental y central tienen el porcentaje relativo de capacidad de producción de cloro con celdas de mercurio más alto del mundo (en 1997, 61 y 66% respectivamente), de acuerdo con Sznoppek y Goonan (2000), que citan a CMAI (1999). Al mismo tiempo, el promedio mundial de producción a base de mercurio era un 24% de la capacidad total de producción, según la misma fuente, incluyendo alrededor de un 15% correspondiente a América del Norte. De acuerdo con datos actualizados de Estados Unidos (comm-24-gov), la producción con celdas de mercurio en 2001 ha descendido aún más hasta llegar a 10% de la producción total de cloro de ese país. En Japón, hace tiempo que todas las plantas de producción de cloro-álcali han reemplazado el mercurio por tecnologías que no utilizan ese metal (CMAI, 1999; Maxson, 1999, citado por Scoullou *et al.*, 2000). Como aproximadamente tres cuartas partes de la capacidad de producción mundial de cloro está situada en Europa occidental, América del Norte y el noreste de Asia, es evidente que gran parte del mercurio que se utiliza en las plantas de cloro-álcali del mundo se encuentra en Europa, si bien gran parte del consumo y las liberaciones de ese metal permanecen en países menos desarrollados. Según registros reales de mercurio fácilmente recuperable de instalaciones de producción de cloro retiradas del servicio en la Unión Europea y Estados Unidos, se puede estimar aproximadamente que alrededor de la mitad (12.000-13.000 toneladas métricas<sup>15</sup>) de los inventarios de mercurio relacionados con la producción de cloro-álcali en el mundo (estimados aproximadamente en 20.000 – 30.000 toneladas métricas<sup>16</sup>) se encuentra en la Unión Europea.

579. En 1990, las Partes del Convenio para la Protección del Medio Marino del Atlántico Nordeste (OSPAR) de la región del norte de Europa recomendaron la eliminación progresiva y total del procedimiento a base de mercurio en la producción de cloro-álcali de aquí al año 2010 (Decisión de la PARCOM 90/3 del 14 de junio de 1990; véase la sección 9.3.2). Las instalaciones de cloro-álcali que caen bajo la responsabilidad del OSPAR, la mayoría de cuyos países pertenecen a la Unión Europea, actualmente contienen más de la mitad de las cantidades de mercurio utilizadas actualmente en la producción de cloro-álcali de Europa. La Decisión 90/3 que recomendaba la eliminación progresiva del mercurio fue revisada en 1999-2001, pero no fue modificada. La aplicación de esta recomendación queda a discreción de las autoridades normativas nacionales de las diversas Partes del Convenio OSPAR. Por lo tanto, las conversiones y clausuras de las plantas de cloro-álcali con celdas de mercurio se están haciendo con mayor rapidez en algunos países del OSPAR que en otros, pero a un ritmo que asegurará que la mayoría de esas instalaciones sean eliminadas de aquí a 2020 (Maxson y Verberne, 2000).

---

<sup>15</sup> Calculado por Maxson y Verberne (2000).

<sup>16</sup> En 1997, la capacidad de producción mundial de cloro a base de mercurio era de unas 11.640.000 toneladas métricas/año (Euro Chlor, 1998). Según los datos recogidos por Maxson y Verberne (2000) que indican alrededor de 1,8 kg Hg (en celdas) por tonelada métrica de capacidad de producción de cloro, y otro 10-15% fácilmente recuperables de otras partes de la planta, los inventarios de mercurio global asociados con la producción de cloro-álcali superan las 25.000 toneladas métricas. La gama de 20.000-30.000 toneladas métricas refleja cierta incertidumbre, tal como tasas de eficiencia inferiores en algunas regiones.



580. Las emisiones de mercurio procedentes de la producción de cloro y soda cáustica no son el único motivo de preocupación por este uso. En los países del OSPAR y la UE se han discutido mucho las posibles repercusiones que la recomercialización del mercurio procedente de instalaciones de cloro-álcali retiradas del servicio pueda tener en el mercado mundial del mercurio. En los países del OSPAR, se trata de más de la mitad de las 12.000-13.000 toneladas métricas mencionadas anteriormente. Este mercurio es prácticamente “puro” y, por lo tanto, fácilmente comercializable, aunque se ha discutido la cuestión de si se lo debería considerar técnicamente un “desecho” y, por lo tanto, cubierto por las restricciones impuestas por el Convenio de Basilea al transporte (véase la sección 9.3.4). De acuerdo con una resolución judicial muy reciente (European Commission, 2002), “el mercurio procedente del cierre de instalaciones no pasa a estar automáticamente cubierto por la legislación comunitaria relativa a los residuos ni sometido a las disposiciones del Convenio de Basilea”. Eso significa que cada Estado miembro de la UE, “en función de las circunstancias”, determinará si el mercurio constituye un “residuo”. En el caso en que determine que el mercurio es un residuo, el material estará cubierto por todos los acuerdos internacionales aplicables. Al pasar, el documento de referencia señala que la eliminación final de este mercurio sería “la mejor solución” desde el punto de vista medioambiental y considera que esa solución es el único enfoque sostenible.

581. Suecia ha resuelto que ese mercurio puro residual debe considerarse un residuo y está sujeto a la legislación sueca que prohíbe las exportaciones de residuos de mercurio. Los países de OSPAR han propuesto que se examinen a nivel de la UE medidas seguras para la eliminación de este mercurio residual, porque las iniciativas nacionales podrían afectar los parámetros del comercio y las políticas de manipulación de residuos y, probablemente, obstaculizar el funcionamiento del mercado común en el seno de la UE.

582. Hay temores de que el ingreso al mercado de grandes cantidades de mercurio reciclado de bajo precio aumente e incluso reactive el uso de este metal (para ciertas aplicaciones) en países que tengan una legislación menos restrictiva, menores capacidades para hacerla cumplir y/o circunstancias sociales y económicas especiales. Un ejemplo podría ser una disminución de los esfuerzos para usar mercurio en forma más eficiente en la minería de oro a pequeña escala que se practica en la cuenca del Amazonas y otras regiones del mundo (véase más adelante), basada, por lo menos en parte, en importaciones de mercurio de países de la OCDE (Maxson y Vonkeman, 1996, citado por Scoullou *et al.*, 2000). Otro ejemplo específico es la exportación de una antigua planta de cloro-álcali completa, incluyendo el mercurio, de Dinamarca a Pakistán. La intervención del Ministro de Medio Ambiente de Dinamarca impidió que la fábrica fuera montada en Pakistán y las instalaciones fueron devueltas para ser eliminadas. Posteriormente, en 1999, todos los productores de cloro-álcali de Europa occidental presentaron a las autoridades un compromiso voluntario, una cláusula que los obliga a no vender ni transferir a terceros celdas de mercurio obtenidas a raíz del cierre de una planta para que las reutilicen.

583. Todas esas consideraciones son paralelas a los debates mantenidos en Estados Unidos, donde la preocupación por las consecuencias ambientales provocó una suspensión, en 1994, de las ventas federales de mercurio procedente de las reservas del Gobierno – suspensión que todavía sigue en vigor (US EPA, 1997; Snopek y Goonan, 2000, citado por Scoullou *et al.*, 2000).

584. Para abordar la misma cuestión de perturbación del mercado y responsabilidad social, la asociación europea de la industria del cloro (Euro Chlor) firmó un acuerdo con Minas de Almadén de España, de propiedad estatal, uno de los principales productores y comerciantes de mercurio del mundo. Este acuerdo estipula que Minas de Almadén aceptará todos los excedentes de mercurio de los productores de cloro de Europa occidental, a condición de desplazar, tonelada por tonelada, el mercurio que de otro modo hubiera sido extraído de las minas (denominado mercurio “virgen”) y fundido para satisfacer la demanda para usos legítimos. Todos los miembros de Euro Chlor de Europa occidental han aceptado transferir su mercurio excedentario a Almadén (o bien, según los principios de libre comercio y competencia, a otro productor europeo de mercurio). Euro Chlor estima que también es posible persuadir a los productores de Europa central y oriental de que adhieran al acuerdo. Si bien este acuerdo representa claramente un esfuerzo de todas las partes para abordar responsablemente el problema del mercurio excedentario, algunas personas opinan que todavía no hay controles adecuados para fiscalizar el lugar o el modo de venta de ese mercurio.

585. El Consejo Mundial del Cloro ha señalado que este acuerdo está estrechamente ligado a los compromisos voluntarios que todos los productores de cloro-álcali de Europa occidental presentaron a las autoridades en 1999. Las compañías reconocen que el mejor uso que se puede dar al mercurio puro procedente de las plantas que cierran o se convierten a otras tecnologías es el que reduzca al mínimo la necesidad de extraer mercurio virgen y añadirlo al que ya circula en el mundo. Las compañías reconocen también que, si en el futuro se hace aparente que la oferta de mercurio procedente de la industria cloroalcalina excede la demanda remanente de mercurio para usos legítimos, habrá que examinar diversas opciones de almacenamiento.

586. Como se indicó, el uso de mercurio en la producción de cloro y soda cáustica no se limita al mundo occidental. Por razones históricas, esta tecnología todavía se usa en todo el mundo, a pesar de que la proporción relativa de la tecnología de mercurio es menor en otras regiones que en Europa. La tabla 7.10 da una idea de la capacidad de la producción mundial y regional de cloro, y la proporción relativa de la capacidad de producción que se basa en la tecnología de mercurio.

*Tabla 7.10 Capacidad de producción mundial y regional de cloro en 1992 y 1997, y la proporción relativa que se basa en la tecnología de mercurio (la capacidad de producción de cloro se expresa en toneladas métricas; la tabla procede de Sznoppek y Goonan, 2000, que citan a CMAI, 1999).*

	Total mundo	América del Norte	América del Sur	Europa occid.	Europa oriental	Ex URSS	África	Oriente Medio	India Pakistán	Noreste de Asia	Sudeste de Asia
Todas celdas											
1992	45.394 100%	13.575 30%	1.696 4%	11.223 25%	1.896 4%	3.773 8%	535 1%	800 2%	1.523 3%	9.706 21%	667 1%
1997	49.437 100%	14.686 30%	1.787 4%	10.640 22%	1.791 4%	3.676 7%	584 1%	1.294 3%	2.135 4%	11.794 24%	1.050 2%
TCAC	1,72	1,59	1,05	(1,06)	(1,13)	(0,59)	1,77	10,10	6,99	3,94	9,50
Celda Hg											
1992	12.625 100%	2.016 16%	460 4%	6.984 55%	1.437 11%	248 2%	295 2%	263 2%	898 7%	0 --	5 nil
1997	11.640 100%	1.809 16%	424 4%	6.445 55%	1.174 10%	248 2%	222 2%	276 2%	916 8%	50 nil	5 nil
TCAC*	(1,61)	(2,14)	(1,62)	(1,59)	(3,94)	0	(5,53)	0,97	0,40	nil	0
% celdas Hg											
1992	28	15	27	62	76	7	55	33	59	0	1
1997	24	15	24	61	66	7	38	21	43	nil	nil

\*TCAC=Tasa de crecimiento anual compuesta. Los números entre paréntesis son negativos.

587. El Capítulo 8 contiene información sobre posibilidades de sustitución del mercurio de la producción de cloro-álcali, así como las posibilidades técnicas para reducir las liberaciones de mercurio de las plantas de producción de cloro-álcali a base de mercurio.

#### 7.4.2 Reactivación del uso de mercurio en la extracción de oro

588. Un ejemplo del resurgimiento de una aplicación del mercurio es el proceso de amalgama para extraer oro, que causa gran inquietud a las personas que se preocupan de los impactos del mercurio en el medio ambiente mundial. Lacerda (1997a) ha descrito y analizado esta técnica y la carga de mercurio producida en el medio ambiente por las explotaciones auríferas realizadas en el pasado y en la actualidad. El mercurio se ha utilizado en la minería del oro y la plata desde la época de los romanos. La invención del método de refinación denominado “el patio” en la América colonial española permitió producir plata y oro a gran escala en América y en Australia, el sudeste de Asia e incluso en Inglaterra. Es posible que la cantidad de mercurio liberada en la biosfera a causa de esta antigua actividad haya superado las 260.000 toneladas métricas en el período de 1550 a 1930, tras el cual las reservas de plata fácilmente explotable casi se agotaron y el procedimiento de amalgamación de mercurio fue reemplazado en parte por el método más eficiente de cianuración a gran escala, que permite la

extracción de oro aún a partir de minerales de baja ley. Al introducirse ese método, la amalgamación de mercurio dejó prácticamente de utilizarse como tecnología minera de importancia, hasta la década de 1970.

589. La extraordinaria alza del precio del oro y la difícil situación socioeconómica imperante en la década de 1970 propiciaron una nueva corrida del oro, especialmente en el hemisferio sur, en la que participaron más de 10 millones de personas de todos los continentes. En la actualidad, la amalgamación de mercurio es la principal técnica artesanal que se usa para extraer oro en América del Sur (sobre todo en la cuenca del Amazonas), China, Asia sudoriental y algunos países de África. En Brasil, la amalgamación del mercurio se utilizó para producir 5,9 toneladas métricas de oro en 1973. En 1988, esa cifra había aumentado a más de 100 toneladas métricas por año. En la década de 1990, las cifras de producción disminuyeron otra vez debido a la baja en el precio del oro y el agotamiento de los depósitos (Uppsala University; comm-3-ngo).

590. Aunque existen otros métodos de extracción, se eligió el método de amalgamación probablemente porque requiere la menor inversión inicial y muy pocos conocimientos técnicos.

591. La lista de países donde se dice que se usa el método de amalgamación de mercurio en la extracción de oro en los últimos años comprende a Brasil, Venezuela, Bolivia, Guayana Francesa, Perú, Ecuador, Colombia, Filipinas, Indonesia, Vietnam, China (Lacerda, 1997a), Panamá, Papúa Nueva Guinea, Ghana, Zimbabwe (Maxson, 1999, citado por Scoullos *et al.*, 2000), Tanzania (Appel *et al.*, 2000) y Rusia (Laperdina *et al.*, 1996). Según información contenida en los comentarios de las versiones preliminares del presente informe (véase la tabla 7.6), se pueden añadir los siguientes países: Australia, Burundi, Burkina Faso, Costa Rica, Costa de Marfil, India, Kirguistán, Mali, México, Mongolia, Mozambique, Sudáfrica y Surinam.

592. En China, se dice que desde 1992 se han abierto más de 200 pequeñas minas en una sola provincia, después de que se concediera el permiso para formar empresas individuales. Según Yshuan (comunicación personal, en Lacerda, 1997a), ello ha causado un aumento del 10% en la producción de oro. Esa puede ser una de las explicaciones de las importaciones relativamente grandes de mercurio a China señaladas por Sznopek y Goonan (2000), y Scoullos *et al.* (2000). Los dos últimos años, sin embargo, todas las extracciones mineras de oro (y mercurio) han sido prohibidas por las autoridades chinas.

593. Lacerda (1997a) calculó que las emisiones mundiales de mercurio al medio ambiente provenientes de la extracción de oro alcanzaron las 460 toneladas métricas por año a fines de la década de 1980 y comienzos de la de 1990, lo que equivale a alrededor del 10% del total de liberaciones antropógenas mundiales. Algunas zonas de la cuenca del Amazonas están muy contaminadas con mercurio debido a la pequeña minería de oro. La amalgama de oro que se forma en el proceso de extracción libera mercurio en forma de vapor cuando se la calienta en una de las etapas de purificación. Se encuentra mercurio no solamente en las escorias de los sitios de extracción y en los puestos de comercio, sino también en los suelos, plantas, sedimentos y cursos de agua. En la primera mitad de la década de 1990, se estimó que como mínimo el 95% del mercurio utilizado se perdía al medio ambiente, donde contribuía a la continua removilización atmosférica y circulación del mercurio en el mundo (Maxson y Vonkeman, 1996, citado por Scoullos *et al.*, 2000). Citado por los mismos autores, Greenpeace (1994) calculó que, en 1993-94, el total de mercurio utilizado en la minería de oro en todo el mundo era entre 400 y 500 toneladas métricas por año, pero algunos observadores de la industria consideran que esa estimación es demasiado alta y sugieren que el consumo de 1996 debe haber oscilado entre las 350 y 450 toneladas métricas por año. Otros analistas bien informados (MMSD, 2002) consideran que la cifra es demasiado baja y sugieren que en la actualidad es posible que los mineros artesanales de oro y plata estén consumiendo de 500 a 1.000 toneladas métricas por año, de las cuales un porcentaje muy alto se pierde en el medio ambiente. Maxson y Vonkeman (1996), citados por Scoullos *et al.* (2000), señalan que a lo largo de los años cantidades considerables de ese mercurio han sido suministradas desde Europa o a través de Europa.

594. En el curso de 1989, los mineros de oro de Brasil liberaron como mínimo 168 toneladas métricas de mercurio al medio ambiente, equivalentes al 80% de las pérdidas totales de mercurio de ese país en 1989 (estimadas en 210 toneladas métricas). La segunda fuente más grande de Brasil, la producción de cloro y álcalis, fue la responsable del 8% de las liberaciones. El destino final de otras 67 toneladas métricas se desconoce y, según Hylander *et al* (1994), citando a CETEM (1992), es posible que esa cantidad también haya ido a parar al proceso de extracción de oro, lo cual aumentaría la pérdida total de mercurio de esa fuente a 277 toneladas métricas in 1989.

595. Maxson y Vonkeman (1996), citados por Scoullos *et al.* (2000), observan que la venta y utilización de mercurio en la explotación aurífera están oficialmente prohibidas en Brasil, pero que esa prohibición es claramente difícil de hacer cumplir en la cuenca del Amazonas. Según esa fuente, las importaciones de mercurio continuarán, sobre todo desde países vecinos como Colombia y Venezuela, pero también desde Europa (el mercurio se comercia a escala mundial). Se informa que, en los últimos años, el uso de mercurio para esos fines ha venido decayendo, sobre todo porque las reservas de oro accesibles mediante las técnicas de la pequeña minería ("garimpeiros") aparentemente están desapareciendo (Mercury as a Global Pollutant, 1999). Según datos del Departamento Nacional de Producción Mineral, Brasil produjo 112,5 toneladas métricas de oro en 1988, de las cuales 90 toneladas por mineros de oro a pequeña escala. Se informó asimismo que en 1995 la producción total de oro fue de sólo 63 toneladas métricas, de las cuales 20 toneladas fueron producidas por mineros a pequeña escala. Maxson y Vonkeman (1996), citados por Scoullos *et al* (2000), advierten que esas cifras se deben interpretar en sentido amplio, ya que muchas de esas actividades están fuera del control del Gobierno. Maxson y Vonkeman (1996), citados por Scoullos *et al.* (2000), citan datos de CETEM (1993) sobre las importaciones de mercurio, que para 1992 se calcularon en 250 toneladas métricas, de las cuales 150 se utilizaron en minería. Se estima que en 1996 esa cifra bajó a unas 100 toneladas, paralelamente con una baja del precio del oro con respecto a los precios de la década de 1980.

596. Maxson y Vonkeman (1996), citados por Scoullos *et al.* (2000), señalan que evidentemente el precio del mercurio no es un factor determinante de su uso en la minería artesanal del oro. El precio debería ser mucho más alto para estimular el uso de una tecnología que evite el empleo de mercurio en la pequeña minería.

597. En varios países de América del Sur, hay ejemplos de programas destinados a promover equipos de extracción a base de mercurio menos contaminantes, fomentar la concienciación acerca de las propiedades peligrosas de ese metal y ofrecer otros tipos de ayuda e información sobre aspectos sociales y ambientales, administración de empresas, etc. Algunos proyectos también tienen el objeto de evaluar o tratar de aumentar las posibilidades y capacidades de las autoridades y otras partes interesadas para hacer cumplir la reglamentación ambiental en las zonas de pequeña minería (basado en Mercury as a Global Pollutant, 1999). Asimismo, se está implementando un plan de acción mundial de la ONUDI-FMAM para eliminar los obstáculos a la introducción de tecnologías menos contaminantes en la minería artesanal de oro en un número de países de tres continentes. Al respecto, véase la sección 9.4.6.

598. Según la Universidad de Uppsala (Suecia), la extracción de oro por el método relativamente ineficiente de amalgamación empleado por la mayoría de los mineros artesanales a menudo deja como consecuencia otro riesgo para el medio ambiente. Al terminarse el proceso de amalgamación, quedan en los sitios mineros cantidades considerables de oro (por ejemplo, en Brasil), restos que a menudo se reprocesan por el método del cianuro (Hylander, 2001). El cianuro es un tóxico ambiental, pero posee la importante ventaja sobre el mercurio de ser degradable y de no bioacumularse.

599. El capítulo 8 informa sobre las posibilidades de prevenir o reducir las liberaciones de mercurio de la extracción artesanal de oro.

## 8 Tecnologías y prácticas de prevención y de control

### 8.1 Panorama general

600. Este capítulo sintetiza información proveniente de todo el mundo sobre tecnologías y prácticas de prevención y control (incluyendo su costo y eficacia) que podrían reducir y/o eliminar liberaciones de mercurio, entre otras el empleo de sustitutos adecuados cuando corresponde.

601. Como se expone en el capítulo 6, las fuentes de liberaciones de mercurio en la biosfera pueden agruparse en cuatro categorías principales (incluyendo la última, que no se explica con claridad en muchos análisis del tema ):

- Fuentes naturales – liberaciones originadas por la movilización natural del mercurio generado de forma natural en la corteza terrestre, por actividad volcánica o por erosión de las rocas;
- Liberaciones antropógenas (asociadas con la actividad humana) actuales debidas a la movilización de impurezas de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles –en particular carbón y, en menor grado, el gas y el petróleo– y otros minerales extraídos, tratados y reciclados;
- Liberaciones antropógenas actuales generadas por el mercurio utilizado intencionalmente en productos y procesos, causadas por liberaciones durante la producción, fugas, eliminación o incineración de productos de desecho u otras liberaciones;
- Removilización de liberaciones antropógenas pasadas depositadas en suelos, sedimentos, aguas, vertederos y pilas de desechos/residuos.

602. La figura 8.1 muestra gráficamente esas categorías principales de liberaciones, junto con las principales alternativas para prevenir y controlar liberaciones.

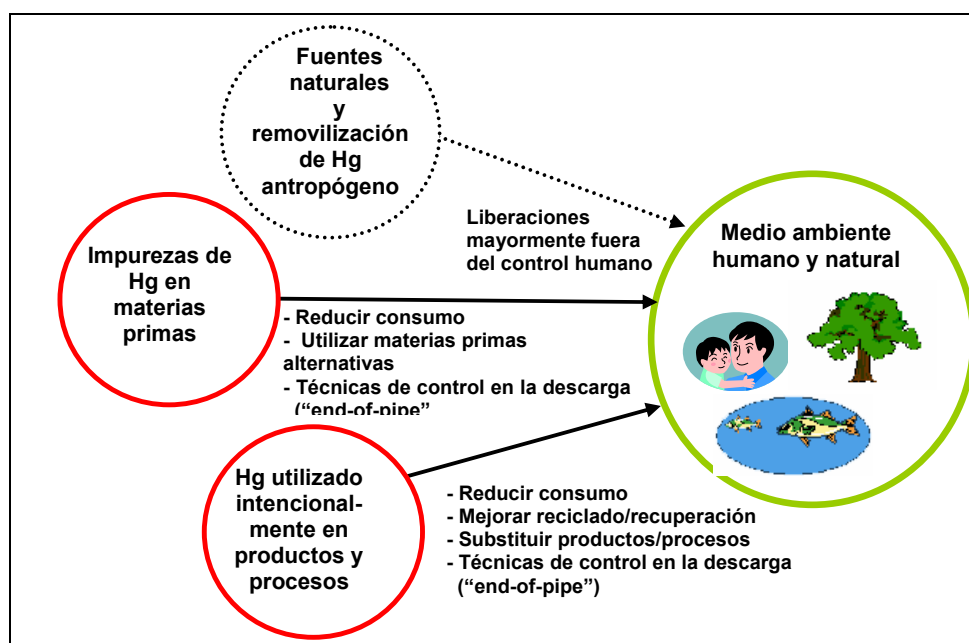


Figura 8.1 Fuentes principales de liberaciones de mercurio al medio ambiente y mecanismos de control más importantes

603. Las liberaciones debido a la movilización natural del mercurio y la removilización de mercurio antropógeno depositado antiguamente en suelos, sedimentos y masas de agua no se conocen del todo y

están en gran medida fuera del control humano. Las otras dos son liberaciones antropógenas actuales de mercurio. Reducir o eliminar estas liberaciones puede requerir:

- Inversiones para el control de las liberaciones derivadas de materiales básicos y materias primas contaminados con mercurio y sustitución de su uso, pues constituyen la fuente principal de liberaciones de mercurio de usos “no intencionales”.
- Reducir o eliminar el uso de mercurio en productos y procesos, fuente principal de liberaciones del uso “intencional” de mercurio.

604. Los métodos específicos para controlar las liberaciones de mercurio de estas fuentes varían mucho, según sean las circunstancias locales, pero pueden agruparse en cuatro categorías:

- A. Reducción de la extracción y consumo de mercurio en materias primas y productos que originan liberaciones de mercurio;
- B. Sustitución o eliminación de productos, procesos y prácticas que contienen o utilizan mercurio;
- C. Control de las liberaciones de mercurio mediante técnicas de control de fin de ciclo (“end-of-pipe”);
- D. Gestión de desechos de mercurio.

605. Las dos primeras son medidas “preventivas” –evitan algunos usos o liberaciones de mercurio.<sup>17</sup> Las otras dos son medidas “de control”, que reducen (o retrasan) algunas liberaciones antes de que lleguen al medio ambiente. Dentro de estas categorías muy generales se encuentra un gran número de técnicas y estrategias particulares para reducir las liberaciones de mercurio y exposiciones al mismo. Su aplicación en los diversos países depende de las prioridades gubernamentales y locales, información y sensibilización sobre posibles riesgos, marco jurídico, ejecución de la legislación, costos de instrumentación, beneficios percibidos y otros factores.

#### **A. Reducción del consumo de materias primas y productos que generan liberaciones de mercurio**

606. Reducir el consumo de materias primas y productos que generan liberaciones de mercurio es una medida preventiva que se aplica sobre todo a productos y procesos a base de mercurio, pero que también puede derivarse de un incremento de eficiencia en el uso de materias primas o de combustibles para la generación de energía. Este grupo de medidas podría implicar la elección de otra materia prima, como el gas natural para la generación de energía en lugar de carbón, o quizás utilizar un tipo de carbón con determinada característica (por ejemplo, más cloro) ya que las emisiones de mercurio derivadas de la combustión de este tipo de carbón podrían controlarse más fácilmente que las de otros tipos.

607. Otra posible medida en algunas regiones es el uso de carbón con una menor concentración de mercurio (las concentraciones de mercurio parecen variar considerablemente en algunas regiones según el origen de las materias primas). Sin embargo, este método presenta ciertas limitaciones y posibles problemas. Por ejemplo, como sucede con las plantas eléctricas, que prefieren el petróleo crudo bajo en azufre, es probable que haya plantas que estén dispuestas a pagar más por carbón bajo en mercurio, con lo que disminuye el valor de mercado de todo el carbón alto en mercurio, lo que a su vez puede generar un consumo mayor de ese tipo de carbón en regiones en las que los controles de emisiones para esas plantas son menos rigurosos. Además, los datos recopilados recientemente en Estados Unidos indican que el abastecimiento de carbón en ese país no varía significativamente en cuanto a contenido de mercurio.

---

<sup>17</sup> Por “prevención de la contaminación” se entiende toda práctica que reduzca la cantidad de contaminante que entra en el flujo de desechos o que se libera de algún modo en el medio ambiente antes de su reciclado, tratamiento o eliminación. Puede comprender una gran variedad de actividades, como la reducción del uso de tóxicos, sustitución de materiales, modificación de procedimientos o equipos, y el empleo de mejores prácticas de gestión.

608. Con todo, estas medidas preventivas cuya finalidad es reducir las emisiones de mercurio son, por lo regular, rentables, salvo en los casos en que el precio de alguna materia prima alternativa sea considerablemente mayor o cuando otros problemas obstaculicen este método.

### **B. Substitución de productos y procesos a base de mercurio**

609. Sustituir productos que contienen mercurio y procesos que lo utilizan con productos y procesos sin mercurio puede ser una de las medidas preventivas que más pueden influir en todo el flujo del mercurio en la economía y el medio ambiente. Puede reducir sustancialmente el mercurio en los hogares (y reducir liberaciones accidentales, por ejemplo, cuando se rompe un termómetro), el medio ambiente, flujo de desechos, emisiones de incineradores y rellenos sanitarios. Los sustitutos son, en su mayoría, rentables, sobre todo porque su demanda es cada vez mayor. En este grupo de medidas cabe también la conversión a tecnologías sin combustibles fósiles en las plantas generadoras que hasta ahora los utilizan.

610. Sin embargo, sería un error suponer que la sustitución es siempre la mejor opción. Por ejemplo, en el caso de las lámparas fluorescentes de eficiencia energética, mientras no haya sustituto competitivo que no use mercurio, desde la perspectiva del ciclo de vida del producto es preferible utilizar una lámpara de eficiencia energética que contenga mercurio que utilizar una lámpara fluorescente común, menos eficiente, que no contenga mercurio, en vista de las prácticas actuales de producción de electricidad<sup>18</sup>.

### **C. Control de emisiones de mercurio mediante técnicas de control de fin de ciclo (“end-of-pipe”)**

611. El control de las liberaciones de mercurio mediante técnicas de control de fin de ciclo, como el filtrado de gases de escape, puede ser especialmente apropiado para procesos que utilizan materias primas con contaminación mínima de mercurio: centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles, la producción de cemento (en el que la cal, como materia prima, suele contener cantidades mínimas de mercurio), la extracción y la elaboración de materias primas como hierro y acero, ferromanganeso, zinc, oro y otros metales no ferrosos y la elaboración de materias primas secundarias como chatarra de hierro y acero. Las tecnologías de control existentes que reducen el SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y materia particulada de las calderas e incineradores alimentados con carbón, si bien no se utilizan todavía extensivamente en muchos países, también proporcionan un cierto control de mercurio. En el caso de calderas alimentadas con carbón, las reducciones van de 0 y 96%, según el tipo de carbón, tipo de caldera, y equipo de control de emisión. En promedio, a clase inferior de carbón menor reducción de mercurio; sin embargo, las reducciones también pueden variar dentro de una misma clase de carbón. La tecnología para un mayor control del mercurio está en la etapa de desarrollo y demostración, y todavía no se comercializa. A largo plazo, las tecnologías de control para diversos contaminantes, entre ellos SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, MP y mercurio, pueden ser un método rentable. Sin embargo, aunque reducen el problema de contaminación atmosférica por mercurio, las tecnologías de control de fin de ciclo siguen generando desechos de mercurio que son fuentes potenciales de futuras emisiones y deben ser eliminadas o reutilizadas de forma ambientalmente aceptable.

---

<sup>18</sup> Una lámpara ordinaria (incandescente) consume varias veces más energía para producir la misma cantidad de lúmenes que una lámpara fluorescente y, por lo tanto, produce mayores emisiones de mercurio, suponiendo que la mayor parte de la energía se genere mediante combustibles fósiles. Según los Boletines N° 3 (1993) y N° 1 y 4 (1994) de la *International Association for Energy-Efficient Lighting (IAEEL)*, la energía suplementaria que consume una lámpara incandescente produce 2,6 veces más mercurio que el promedio de las lámparas compactas fluorescentes de la misma intensidad luminosa, y hasta 12 veces más mercurio que una lámpara fluorescente de bajo contenido de mercurio, aún suponiendo que todo el mercurio de la lámpara fluorescente se libere en última instancia. (Como se indica en el texto, el contenido de mercurio de las lámparas fluorescentes es muy variable.) Estas cifras se basan en la “mezcla energética”, de Estados Unidos, que se compone de 56% de carbón, 9% de gases fósiles, 4% de petróleo y 31% de combustibles no fósiles. La mezcla energética en Europa es similar, salvo en algunos países como Noruega y Suecia, en que es muy diferente. Estos dependen mucho más de la energía hidroeléctrica. El reciclaje de las lámparas de alto rendimiento energético reduce aún más su impacto ambiental.

#### D. Gestión de los desechos de mercurio

612. Los desechos de mercurio, incluidos los residuos recuperados con tecnologías de control de fin de ciclo, constituyen una categoría especial de liberaciones de mercurio, y pueden afectar a poblaciones alejadas de la fuente inicial del mercurio. La gestión de los desechos de mercurio, que es la cuarta medida de “control” mencionada anteriormente, puede consistir en volver inerte el contenido de mercurio de los desechos, para luego depositarlos en rellenos sanitarios controlados, o bien depositarlos sin tratamiento previo. En Suecia, la única eliminación aceptable del mercurio consiste en el “almacenamiento definitivo” de los desechos, previamente tratados, a grandes profundidades, pero algunos aspectos técnicos de este método aún no se han resuelto (este punto se vuelve a tratar más adelante).

613. La gestión de desechos de mercurio es cada vez más compleja ya que se recolecta cada vez más mercurio de una gran variedad de fuentes, entre ellas, productos del filtrado de gas, lodos de la industria cloroalcalina, cenizas, escorias y residuos minerales inertes, así como tubos fluorescentes usados, baterías y otros productos que por lo general no se reciclan. En los vertederos de desechos ordinarios generalmente se permiten concentraciones bajas de mercurio, pero algunos países sólo permiten que se depositen los desechos con concentraciones mayores de mercurio en vertederos con mejores tecnologías de control de liberaciones, para así limitar el lixiviado y la evaporación de mercurio. En algunos países el costo de la eliminación aceptable de desechos de mercurio es tal que muchos productores están buscando alternativas para no tener que generar ni tratar desechos de mercurio. La gestión de desechos de mercurio, tal como se practica hoy en día, en apego a la normatividad nacional y local, requiere cada vez más supervisión e inversión a largo plazo. La gestión adecuada de desechos de mercurio es importante para reducir liberaciones en el medio ambiente, como las ocasionadas por filtraciones (en termómetros y manómetros rotos, por ejemplo) o liberaciones que se generan con el tiempo debido a filtraciones en ciertas aplicaciones (interruptores automáticos de automóviles<sup>19</sup>, amalgamas dentales). Además, dada la demanda de mercurio, la recolección de productos que contienen mercurio para fines de reciclado reduce la necesidad de extracción de mercurio nuevo.

#### Prevención de emisiones y medidas de control

614. Como muestra la figura 8.1, una combinación cuidadosamente estudiada de medidas de prevención y control de emisiones es una forma efectiva de lograr una reducción óptima de liberaciones de mercurio. He aquí algunas medidas de prevención y control que pueden combinarse y aplicarse para las fuentes más importantes de liberaciones antropógenas de mercurio:

- Se pueden reducir las emisiones de mercurio de **incineradores de desechos municipales y médicos** separando la pequeña porción de desechos que contienen mercurio antes de su combustión. Por ejemplo, en los Estados Unidos, la recolección doméstica gratuita de desechos de mercurio ha resultado muy eficaz pues se ha logrado recuperar gran cantidad de productos que contienen mercurio e incluso recipientes llenos de mercurio elemental. Asimismo, los programas de separación han sido muy eficaces en el sector médico pues algunos hospitales se han comprometido a evitar la compra de productos con mercurio mediante programas conjuntos industria-ONG-gobierno. Sin embargo, a veces es difícil o costoso poner en práctica los programas de separación a mayor escala, sobre todo cuando se quieren implantar a toda una población. En tales casos, una mejor solución de largo plazo podría ser fomentar decididamente la sustitución de productos con mercurio por

---

<sup>19</sup> En acerías secundarias de Estados Unidos que procesan automóviles y aparatos fuera de uso, la fuente predominante de mercurio se cree que son piezas de esas máquinas, no las impurezas naturales. Las piezas con mercurio que causan mayor preocupación son los interruptores. Es necesario utilizar tecnologías de control de emisiones o implantar programas eficaces de extracción/recolección de interruptores a fin de reducir al mínimo las liberaciones de mercurio. Para obtener material de referencia sobre este tema, consúltese el informe del grupo de tareas sobre el mercurio del Departamento de Protección Ambiental de Nueva Jersey (*New Jersey DEP Mercury Task Report*) de diciembre de 2001 y el plan del Departamento de Protección Ambiental de Maine para reducir las emisiones de mercurio de automotores (*Maine DEP Plan to Reduce Mercury Releases from Motor Vehicles*) de enero de 2002, disponibles en sus respectivos sitios web.



productos sin mercurio. Como solución de mediano plazo, pueden continuar los programas de separación, y se puede eliminar el mercurio de los gases de chimenea. Las emisiones de mercurio de la incineración de desechos médicos y municipales pueden controlarse relativamente bien agregando un sorbente de carbón al equipo de control de MP y SO<sub>2</sub> existente, pero este control no es cien por ciento efectivo y con este proceso se generan desechos que contienen mercurio.

- Las emisiones de mercurio de **calderas de plantas termoeléctricas y otras industrias**, sobre todo las que consumen carbón, pueden tratarse de manera efectiva mediante la depuración del carbón antes de la combustión, reducción de las cantidades de carbón consumido gracias al incremento de la eficiencia energética, medidas de control de fin de ciclo como depuración de gas de chimeneas y/o conversión a fuentes de combustible no de carbón, de ser posible. Otro método posible podría ser el uso de carbón con un contenido menor de mercurio. Otras opciones, como la depuración del carbón y otras opciones de pretratamiento para reducir emisiones de mercurio, si son viables y resultan rentables, también pueden emplearse. Además, puede captarse más mercurio introduciendo un sorbente antes de las tecnologías de control de SO<sub>2</sub> y MP, existentes. Estas tecnologías están en fase de desarrollo y demostración, pero aún no se comercializan. Además, los subproductos de estos procesos son fuentes potenciales de emisiones futuras y deben eliminarse y reutilizarse de manera ambientalmente aceptable.
- Las emisiones de mercurio generadas por la **contaminación residual de materias primas o materiales básicos** como en las industrias del cemento, minera y metalúrgica, pueden reducirse mediante técnicas de control de fin de ciclo y algunas veces seleccionando materias primas o materiales básicos cuya contaminación residual sea menor, si es posible.
- Las emisiones de mercurio durante **la producción de chatarra de acero**, en las zonas de desguace, trituradoras y en la producción secundaria de acero, se deben principalmente a los interruptores para luces interiores y sistemas de freno antibloqueo (*ABS*, por sus siglas en inglés) de los automóviles; por lo tanto, cabe prever un programa efectivo de recolección/retiro de interruptores como parte de la solución.
- Las liberaciones de mercurio y los peligros para la salud de las actividades de minería artesanal de oro pueden reducirse sensibilizando a los mineros y sus familias sobre los peligros, promoviendo ciertas técnicas no perjudiciales, que requieran menos, o que no requieran, mercurio y, de ser posible, construyendo instalaciones donde los mineros puedan llevar los minerales concentrados para el proceso final de refinado. Algunos países han intentado prohibir el uso de mercurio en la minería artesanal, lo que serviría, por ejemplo, para fomentar el uso de instalaciones centrales de procesamiento, pero la vigilancia de tal prohibición puede resultar difícil.
- Las liberaciones de mercurio y exposiciones en el lugar de trabajo durante la **producción cloroalcalina** pueden reducirse considerablemente mediante la implantación de estrictos procedimientos de control de existencias, medidas “de orden y buen gobierno” para evitar que el mercurio se disperse, filtración adecuada del aire evacuado de la planta y manejo cuidadoso y eliminación adecuada de desechos de mercurio. Existen algunos métodos específicos de prevención para reducir las emisiones de mercurio en la atmósfera. La industria cloroalcalina estadounidense inventó el uso de luces ultravioleta para detectar las fugas de vapor de mercurio en el equipo de producción y así poderlas obturar. Antes de abrir el equipo, primero debe enfriarse para reducir así emisiones de mercurio en la atmósfera. Se puede emplear un analizador continuo de vapores de mercurio para detectar fugas de vapor y dar aviso a los trabajadores para que puedan tomar medidas correctivas. La solución a largo plazo más aceptada es fomentar la supresión gradual y ordenada de procesos de producción cloroalcalina que requieren mercurio, y su sustitución con tecnologías que no utilizan este elemento.
- Las liberaciones y exposiciones al mercurio relacionadas con **pinturas, jabones, diversas aplicaciones de interruptores, termostatos, termómetros, manómetros y barómetros** que contienen mercurio, así como **soluciones de lentes de contacto, productos farmacéuticos y cosméticos** pueden reducirse sustituyendo estos productos con otros que no contengan mercurio.

- Las emisiones de mercurio derivadas de **prácticas odontológicas** pueden reducirse preparando amalgamas de mercurio de forma más eficiente, sustituyendo con otros materiales las amalgamas de mercurio e instalando trampas en el sistema de aguas de desecho.
- Las emisiones de mercurio de amalgamas dentales durante la **cremación** sólo pueden reducirse retirando las amalgamas antes de la cremación, aunque no es una práctica común, o bien filtrando las emisiones gaseosas al efectuarse la cremación. Como los purificadores de gases de combustión son aparatos de control costosos para un crematorio, es preferible usar métodos preventivos como la sustitución de amalgamas dentales de mercurio en odontología.
- Respecto a la **eliminación no controlada de productos o desechos que contienen mercurio**, se pueden lograr reducciones de liberaciones si se decretan ilícitas estas prácticas y se aplica debidamente la legislación, si se mejora el acceso a plantas de desechos peligrosos y, a plazo más largo, si se reducen las cantidades de mercurio gracias a medidas que propicien su sustitución en productos y procesos.

615. Si se considera la gran variedad de restricciones y controles que se aplican cada vez más a los productos y procesos a base de mercurio, resumidos en la tabla 8.1, y los recursos cada vez más grandes que se necesitan para vigilar y hacer cumplir debidamente esas medidas, se comprenden mejor las declaraciones formuladas por el Ministerio del Medio Ambiente de Japón (JME, 1997), refiriéndose al desastre de Minamata y a las dificultades del país para recuperarse de esa experiencia:

*“Incluso desde el punto de vista puramente económico, hacer frente a tales daños supone un gran costo en tiempo y dinero, y cuando comparamos el costo en que se ha incurrido y el costo de las medidas que podrían haber evitado la contaminación, permitir que ésta ocurra no es por cierto una opción económicamente recomendable”.*

## 8.2 Substitución

616. Como se describe en el capítulo 6, el uso deliberado de mercurio en productos y procesos representa una contribución considerable a la movilización y liberación de mercurio al medio ambiente. A medida que se toma conciencia de las consecuencias negativas del mercurio en la salud humana y el medio ambiente, varios países han hecho un esfuerzo especial para tratar el problema del mercurio en esas aplicaciones y han tenido particular éxito en la reducción del uso de ese elemento. Canadá, Dinamarca, Noruega, Suecia y Estados Unidos, entre otros, han logrado disminuir considerablemente el número de aplicaciones y de cantidades de mercurio utilizado en cada aplicación, especialmente en los últimos 15 a 20 años. No obstante, como muchos productos que contienen mercurio tienen una larga vida útil, aún cuando un país decida prohibir la comercialización y uso de mercurio en la mayoría de los productos, pueden pasar décadas antes de poder recoger y retirar de la circulación la mayor parte del mercurio que se está usando.

617. Actualmente existen en el comercio alternativas para prácticamente todas las aplicaciones de mercurio, que permiten eliminar progresivamente casi todos los usos de este elemento en los países que así se lo proponen. Sin embargo, las experiencias de Suecia y Dinamarca demuestran que las autoridades públicas deben tener mucha determinación y una clara estrategia. Al ponerse en práctica en Suecia la prohibición del uso de mercurio en productos (salvo en algunos productos exonerados), se estudiaron diversos sustitutos de instrumentos de medición y componentes eléctricos que contenían mercurio. Se descubrió con sorpresa que, al mismo tiempo que se lograba eliminar progresivamente varias aplicaciones de mercurio, estaban apareciendo nuevas – por ejemplo, en equipos electrónicos – a pesar de disponerse de tecnologías alternativas. Se observó que los usuarios de productos que contienen mercurio se enfrentan a cuatro obstáculos principales que dificultan el uso de alternativas viables, a saber:

- la necesidad de realizar trabajos de desarrollo y ensayo; por ejemplo, por razones de seguridad;
- mayores costos y competencia;
- actitudes y conocimientos acerca de técnicas alternativas – incluso entre proveedores de equipos;

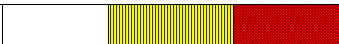




- medidas normalizadas a escala internacional.

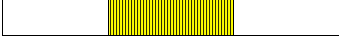

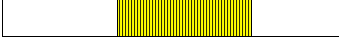

Tabla 8.1. Posibles restricciones y controles que se aplican a productos y procesos a base de mercurio (adaptado de la presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov)

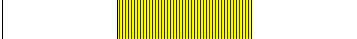

<b>Restricciones y controles de la producción y uso del mercurio implementadas en diversos países</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar o limitar el uso intencional del mercurio en procesos</li> <li>• Evitar o limitar la liberación directa en el medio ambiente de mercurio de procesos industriales (por ej., de las industrias cloroalcalina y metalúrgica)</li> <li>• Aplicar tecnologías de control de emisiones para limitar las emisiones de mercurio por el uso de combustibles fósiles y el procesamiento de materiales minerales</li> <li>• Evitar o limitar la liberación de mercurio de procesos hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales</li> <li>• Evitar o limitar el uso de tecnología obsoleta y/o exigir el uso de las mejores tecnologías disponibles para reducir o evitar las liberaciones de mercurio</li> <li>• Evitar o limitar la comercialización nacional de productos que contienen mercurio</li> <li>• Evitar la exportación de productos que contienen mercurio</li> <li>• Evitar o limitar el uso de mercurio y productos que contienen mercurio ya adquiridos</li> <li>• Limitar el contenido permisible de mercurio presente como impurezas en materiales de gran volumen (embalajes, etc.)</li> <li>• Limitar el contenido permisible de mercurio en alimentos comerciales, en particular el pescado, y ofrecer orientación (basada en los mismos u otros valores límite) sobre el consumo de pescado contaminado</li> </ul>
<b>Restricciones a la eliminación de mercurio implementadas en diversos países</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar, mediante una recolección eficiente de desechos, que el mercurio contenido en desechos de productos y procesos se libere directamente en el medio ambiente</li> <li>• Evitar, mediante recolección y tratamiento por separado, que el mercurio contenido en desechos de productos y procesos se mezcle con desechos menos peligrosos en el flujo general de desechos</li> <li>• Evitar o limitar, mediante tecnologías de control de emisiones, las liberaciones de mercurio en el medio ambiente procedentes del tratamiento de desechos domésticos, desechos peligrosos y desechos médicos</li> <li>• Establecer valores límite para el contenido permisible de mercurio en lodos de depuración que se esparcen en tierras agrícolas</li> <li>• Restringir el uso de residuos sólidos de incineración en la construcción de carreteras, edificación y otros usos</li> <li>• Evitar la recomercialización de mercurio utilizado o reciclado</li> </ul>
<b>Posibilidades de control de mercurio en consideración</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar o limitar la extracción minera de mercurio virgen de la corteza terrestre</li> <li>• Evitar o limitar la comercialización de mercurio recuperado como subproducto de la extracción de otros minerales o de combustibles fósiles (como la minería de metales no ferrosos o la purificación de gas natural)</li> <li>• Controlar el comercio de mercurio puro a fin de restringirlo a usos esenciales predefinidos y asegurar una manipulación sin riesgos para el medio ambiente (similar a los procedimientos para desechos peligrosos)</li> <li>• Limitar el contenido permisible de mercurio presente como impurezas en combustibles y otros materiales minerales de gran volumen</li> </ul>

618. No son obstáculos insuperables, pero exigen un programa apropiado de información e incentivos. La tabla 8.2 presenta un resumen de productos comunes que contienen mercurio y sus sustitutos. Es sólo una muestra representativa de una gran variedad de aplicaciones y sustitutos. Para más información, consúltense las referencias, especialmente la presentación del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov).


Tabla 8.2 Resumen de sustitutos para los principales usos del mercurio, con algunas indicaciones sobre costos relativos (véanse las notas al pie de la tabla).

Producto o aplicación	Alternativas	Costo general en relación con la tecnología de mercurio
Procedimiento de celda de mercurio para producir cloro, álcalis, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio (comúnmente llamado “cloro-álcali”)	Se considera que la Mejor Tecnología Disponible (MTD) para producir cloro y álcalis es la tecnología de membrana. La tecnología de diafragma (no de amianto) se considera también una MTD.	 <p>Los costos de inversión para la conversión a otros procedimientos son considerables, pero los costos de electricidad y materias primas (que juntos representan alrededor de la mitad de los costos totales de explotación) del procedimiento de membrana, así como los costos de tratamiento y eliminación de desechos, son más bajos que los del procedimiento de celda de mercurio.</p> <p><i>EIPPCB (2000), US EPA (1993), presentación del Consejo Nórdico de Ministros, Lindley (1997)</i></p>
Amalgamas dentales	Gracias a los avances tecnológicos de los últimos años, existen en el comercio nuevos sustitutos (plata en frío, galio, cerámica, porcelana, polímeros, materiales compuestos, ionómeros de vidrio, etc.) para usar en vez de los empastes de mercurio. Sin embargo, la Comisión Nacional de la Salud de Dinamarca no considera que esos productos puedan reemplazar completamente la amalgama de mercurio en todos los casos (por ejemplo, empastes en molares de adultos), y esa es también la opinión actual de Suecia. Ni siquiera las alternativas viables se conocen bien ni tienen amplia aceptación en muchos países, ya que los especialistas en general consideran que más fácil seguir usando las técnicas más habituales.	 <p>Los sustitutos son más o menos costosos, o más o menos fáciles de aplicar que las amalgamas de mercurio, pero ninguno de ellos exige el equipo especializado de tratamiento de aguas residuales que necesitan los profesionales dentales para cumplir la reglamentación ambiental en muchos países.</p> <p><i>KEMI (1998), presentación del Consejo Nórdico de Ministros, Gustafsson (2001), US EPA (1997)</i></p>
Pilas botón de óxido mercúrico y mercurio-zinc (médicas)	Desde hace varios años existen pilas de zinc-aire prácticamente sin mercurio y otros sustitutos de las pilas botón (alternativas que todavía contienen hasta 10 mg de mercurio). Aunque muchos fabricantes ya no producen pilas de óxido mercúrico y mercurio-zinc, éstas siguen siendo un problema considerable en el flujo de desechos municipales de la mayoría de los países.	 <p>El costo de los sustitutos a menudo puede ser más alto que las pilas de óxido mercúrico y mercurio-zinc, pero las municipalidades pueden ahorrarse costosos sistemas de recolección y eliminación.</p>
Otras pilas y baterías	Prácticamente todas las otras pilas existen actualmente en las versiones estándar y recargables, sin mercurio y sin cadmio. Sólo las fábricas más antiguas de pilas pueden seguir produciendo pilas con las técnicas y materiales de antes.	 <p>Aunque es difícil comparar pilas debido a su gran variedad y al constante aumento en sus capacidades, las pilas estándar sin mercurio en general cuestan aproximadamente lo mismo que las pilas que vienen a reemplazar. Por otra parte, las pilas recargables, especialmente las que no tienen cadmio, son considerablemente más caras, aunque su costo relativo disminuye si se las recarga más de 10 ó 15 veces.</p>
Termómetros médicos	Existen muchos sustitutos para los termómetros clínicos de mercurio, entre ellos termómetros eléctricos y electrónicos, “desechables” para usar sólo una vez, termómetros de vidrio que contienen una “aleación” de Ga/In/Sn, etc.	 <p>Utilizados sobre todo para medir la temperatura corporal, los termómetros electrónicos se han generalizado en Dinamarca y otros países. Si bien siguen siendo algo más costosos que los termómetros de mercurio, su precio ha bajado mucho en los últimos años. Otras alternativas son más costosas; sin embargo, el nuevo termómetro de Ga/In/Sn con el tiempo costará aproximadamente lo mismo que los viejos termómetros de mercurio.</p>

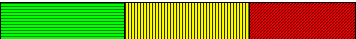
Producto o aplicación	Alternativas	Costo general en relación con la tecnología de mercurio
Otros termómetros	<p>Se usan muchos termómetros en aplicaciones no médicas. En vez de mercurio, se pueden usar otros medios para medir la temperatura; por ejemplo, otros líquidos, gases y sensores eléctricos y electrónicos (probablemente los más comunes). La elección del sustituto depende de la gama de temperaturas que se desea medir, la aplicación específica y la precisión que se busca. (Los termómetros de mercurio no sirven para temperaturas inferiores a <math>-39^{\circ}\text{C}</math>, en que el mercurio se solidifica.)</p> <p>Para medir la temperatura de edificios, a menudo se emplea un dispositivo bimetálico, o un Pt-100 o un termopar cuando se debe transferir una señal térmica a un dispositivo de control o registro.</p> <p>Los sustitutos electrónicos tienen varias ventajas sobre el mercurio. Un mismo termómetro se puede ajustar para distintas gamas, reemplazando así a varios termómetros de mercurio. Además, es posible leer temperaturas digitalmente y registrarlas a distancia, lo cual podría reducir las posibilidades de error humano y los costos operativos.</p> <p>Para un número muy pequeño de aplicaciones de precisión, los termómetros de mercurio se siguen prefiriendo por razones técnicas; por ejemplo, para calibrar otros tipos de termómetros, determinar normas internacionales, etc..</p>	 <p>La gama de aplicaciones y sustitutos del mercurio es tan amplia, que sólo se puede decir que los sustitutos tienen precios muy variables pero no son necesariamente más costosos.</p> <p>Asimismo, cabe señalar que, si bien los termómetros de mercurio cuestan menos que los dispositivos electrónicos, la frecuencia con que se rompen es mayor, y un solo termómetro electrónico puede reemplazar a varios de mercurio. Si se calcula el costo anual, es probable que el dispositivo electrónico no resulte más caro que el termómetro de mercurio que sustituye.</p> <p>Gustafsson (1997), presentación del Consejo Nórdico de Ministros, Rasmussen (1992)</p>
Uso de mercurio en el laboratorio	Es totalmente posible restringir el mercurio en los laboratorios de escuelas y universidades a unos pocos usos específicos y controlables (principalmente reactivos estándar y referencias).	 <p>Esta iniciativa ya se ha puesto en práctica en la legislación de Suecia y Dinamarca. En general, las alternativas no son más costosas y permiten reducir considerablemente la necesidad de controlar las fuentes de mercurio en el laboratorio.</p>
Plaguicidas y biocidas para diferentes productos y procesos.	<p>El uso de mercurio en plaguicidas y biocidas se ha suspendido o prohibido en muchos países. En su lugar, se ha promovido dos alternativas principales:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Procesos que no requieren plaguicidas/biocidas químicos, y</li> <li>2) Sustancias muy selectivas y fácilmente degradables, que tienen un impacto mínimo en el medio ambiente.</li> </ol>	 <p>Esas alternativas ya se han adoptado en muchos países. La gama de productos y aplicaciones es demasiado variada para sacar conclusiones definitivas de una comparación de precios; sin embargo, es probable que en la mayoría de los casos los costos sean aproximadamente semejantes. Las ventajas para el medio ambiente son considerables.</p>
Instrumentos para medir y controlar la presión	<p>El mercurio se usa como un "líquido pesado" en indicadores, interruptores y transmisores de presión. Todos ellos se pueden sustituir sin desmedro de la exactitud ni la fiabilidad. Se usan tres tecnologías principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• membranas flexibles;</li> <li>• cristales piezoeléctricos y otros sensores que cambian alguna propiedad física al cambiar la presión, y</li> <li>• sensores de presión de fibra óptica, basados en la transmisión de la luz.</li> </ul> <p>En indicadores de presión como barómetros y manómetros (entre ellos los de tubo en U), el mercurio se usa para indicar continuamente diferencias de presión. En estos aparatos, el mercurio se puede reemplazar por otro líquido, gas u otras técnicas.</p> <p>Los interruptores de presión a mercurio se usan para medir diferencias de presión o vacío. Se pueden sustituir por los mismos dispositivos que los indicadores de presión, y también equipar con disyuntores sin mercurio.</p> <p>Para la teletransmisión de lecturas de medición, a menudo se utiliza un transmisor de presión. Un transmisor especial a mercurio es un tubo circular que puede contener hasta 8 kg de Hg. Los aparatos sustitutos emplean un potenciómetro o un transformador diferencial para medir cambios de presión y transmitir una señal electrónica. El dispositivo más común es un sensor de diafragma.</p>	 <p>Los precios de los instrumentos sustitutos que funcionan con otros líquidos, gases o un resorte mecánico no son muy diferentes de los de mercurio. Los instrumentos eléctricos o electrónicos son ligeramente más costosos, pero tienen varias ventajas sobre los de mercurio.</p> <p>Gustafsson (2001), Rasmussen (1992), presentación del Consejo Nórdico de Ministros.</p>

Producto o aplicación	Alternativas	Costo general en relación con la tecnología de mercurio																
Componentes eléctricos y electrónicos	Salvo muy pocas excepciones, no hay obstáculos técnicos para reemplazar componentes eléctricos, relés convencionales y otros contactos (incluso si están incluidos en interruptores de nivel o de presión, termostatos, etc.) por componentes equivalentes sin mercurio. A continuación se dan varios ejemplos.	 <p>No hay grandes diferencias de precio entre los relés y contactos convencionales a mercurio y los que no tienen mercurio, excepto en aplicaciones muy específicas. Existen también componentes a mercurio que son más costosos que los sustitutos.</p>																
	<table border="1" data-bbox="248 422 935 976"> <thead> <tr> <th data-bbox="248 422 475 464">Componente a mercurio</th> <th data-bbox="475 422 708 464">Componente sustitutivo</th> <th data-bbox="708 422 935 464">Aplicación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="248 464 475 604">Interruptor de inclinación – interruptor silencioso</td> <td data-bbox="475 464 708 604">Diversos; por ejemplo, manuales/mecánicos (bola de acero, líquido conductor alternativo), microinterruptor</td> <td data-bbox="708 464 935 604">Control de circuitos, termostatos, comunicaciones</td> </tr> <tr> <td data-bbox="248 604 475 709">Interruptor electrónico</td> <td data-bbox="475 604 708 709">Interruptor transistorizado, interruptor óptico</td> <td data-bbox="708 604 935 709">Control de circuitos, termostatos, comunicaciones</td> </tr> <tr> <td data-bbox="248 709 475 829">Interruptor magnético de lámina – “con contactos de mercurio”</td> <td data-bbox="475 709 708 829">Interruptor transistorizado, interruptor electro-óptico, semiconductor</td> <td data-bbox="708 709 935 829">Comunicaciones, control de circuitos en dispositivos electrónicos sensibles</td> </tr> <tr> <td data-bbox="248 829 475 976">Sensor/interruptor de proximidad / – “contacto sin tocar”</td> <td data-bbox="475 829 708 976">Sensor inductivo Sensor capacitivo Sensor fotoeléctrico Ultrasónico</td> <td data-bbox="708 829 935 976">Rotación de eje/transportadores Transportadores Transportadores Transportadores</td> </tr> </tbody> </table>	Componente a mercurio	Componente sustitutivo	Aplicación	Interruptor de inclinación – interruptor silencioso	Diversos; por ejemplo, manuales/mecánicos (bola de acero, líquido conductor alternativo), microinterruptor	Control de circuitos, termostatos, comunicaciones	Interruptor electrónico	Interruptor transistorizado, interruptor óptico	Control de circuitos, termostatos, comunicaciones	Interruptor magnético de lámina – “con contactos de mercurio”	Interruptor transistorizado, interruptor electro-óptico, semiconductor	Comunicaciones, control de circuitos en dispositivos electrónicos sensibles	Sensor/interruptor de proximidad / – “contacto sin tocar”	Sensor inductivo Sensor capacitivo Sensor fotoeléctrico Ultrasónico	Rotación de eje/transportadores Transportadores Transportadores Transportadores	<p>Gustafsson (1997).</p>	
Componente a mercurio	Componente sustitutivo	Aplicación																
Interruptor de inclinación – interruptor silencioso	Diversos; por ejemplo, manuales/mecánicos (bola de acero, líquido conductor alternativo), microinterruptor	Control de circuitos, termostatos, comunicaciones																
Interruptor electrónico	Interruptor transistorizado, interruptor óptico	Control de circuitos, termostatos, comunicaciones																
Interruptor magnético de lámina – “con contactos de mercurio”	Interruptor transistorizado, interruptor electro-óptico, semiconductor	Comunicaciones, control de circuitos en dispositivos electrónicos sensibles																
Sensor/interruptor de proximidad / – “contacto sin tocar”	Sensor inductivo Sensor capacitivo Sensor fotoeléctrico Ultrasónico	Rotación de eje/transportadores Transportadores Transportadores Transportadores																
Lámparas de bajo consumo energético	<p>Actualmente no existen en el mercado lámparas de alto rendimiento energético que no tengan mercurio, aunque hay noticias de una lámpara de bajo consumo energético, sin mercurio, basada en el efecto de emisión de campo, que se estaría empezando a producir en China<sup>20</sup>. Asimismo, se está estudiando una lámpara basada en la tecnología del diodo. Por ahora sólo se puede recomendar que se produzcan/usen lámparas de alto rendimiento energético que contengan el mínimo de mercurio y que, una vez gastadas, se recojan y traten.</p> <p>De acuerdo con la Decisión 1999/568/CE de la Unión Europea (modificada el 9 de septiembre de 2002), los fabricantes sólo podrán utilizar la ecoetiqueta europea en lámparas compactas fluorescentes con terminación única, cuyo contenido de mercurio no exceda de 4 mg y su vida útil sobrepase las 10.000 horas.</p> <p>Existen otras fuentes de luz que contienen mercurio, destinadas principalmente a usos especiales y limitados, que se venden en cantidades mucho menores. Sin embargo, últimamente se han puesto de moda unos nuevos faros de automóvil que contienen mercurio, motivo de particular preocupación, porque son difíciles de recuperar y reciclar, y existen sucedáneos sin mercurio perfectamente aceptables.</p>	 <p>Las lámparas con bajo contenido de mercurio son ligeramente más costosas que las que tienen más mercurio.</p> <p>Las lámparas incandescentes y algunas otras son menos costosas que las de alto rendimiento energético, pero consumen más energía y sus costos operativos son más altos.</p> <p>Falk (1994), Gustafsson (1997), presentación del Consejo Nórdico de Ministros.</p>																

<sup>20</sup> Véase <http://www.lightlab.se/english/products/index.htm>.

Producto o aplicación	Alternativas	Costo general en relación con la tecnología de mercurio
Extracción de oro artesanal	<p>Una alternativa que parece prometedora es un proceso electrolítico sin mercurio (véase la sección 8.5.3) lanzado en Brasil. Sin embargo, existe desde hace unos 10 años y no parece haber convencido a la comunidad artesanal. Una alternativa es un proceso de cianuración, que se dice que usan muchos mineros de escala relativamente pequeña en México y otras partes, a pesar de que requiere inversiones más grandes y más pericia, y también tiene sus riesgos.</p> <p>Otra opción es el proceso Minataur desarrollado en Sudáfrica por Mintek, organismo gubernamental de investigación de tecnologías minerales. El mineral se trata con ácido clorhídrico en presencia de hipoclorito de sodio y luego con metabisulfato de sodio u ácido oxálico para obtener un precipitado de oro con una concentración de 99,5%.</p> <p>El método de la ONUDI para abordar este problema es fomentar la sustitución de procedimientos de extracción de oro que comportan el consumo y la descarga de grandes cantidades de mercurio, y una baja recuperación, por alternativas de gran rendimiento y pocos riesgos para el medio ambiente que reducen drásticamente o eliminan la utilización y descarga de mercurio. Dependiendo de la técnica, el costo y el método de ejecución, algunas propuestas son mejor recibidas que otras, pero todavía ninguna se ha adoptado de forma generalizada. Una técnica típica, desarrollada por Imperial College Consultants (ICON) de Londres, utiliza una cantidad de mercurio considerablemente menor y ha demostrado tener una eficiencia de recuperación de oro 40 a 50% mayor.</p>	 <p>La economía de esas alternativas no se examina aquí en gran detalle, pero hay indicaciones (el primer proceso se usa a gran escala y el segundo produce más oro y utiliza menos mercurio) de que no son más caros que el procedimiento tradicional de mercurio. Si lo fueran, no serían adoptados por los <i>garimpeiros</i>.</p> <p>CETEM/IMAAC/CYTED (2001), ICON (2000), UNIDO (1997), UNIDO (2000), MMSD (2002)</p>

Nota: La barra de color indica el nivel general de precios para el usuario o consumidor del producto o proceso alternativo sin mercurio en comparación con la tecnología a base de mercurio. Los factores que determinan los precios varían según los usos (gastos de adquisición, uso, mantenimiento, etc.), pero no incluyen costos externos.



Verde (izq.) = El sustituto tiene un costo más bajo.  
Naranja (centro) = Tiene un costo similar.  
Rojo (derecha) = Tiene un costo más alto.

### 8.2.1 La experiencia de Dinamarca

619. La experiencia de Dinamarca es un buen ejemplo de los logros que se pueden obtener con una estrategia de sustitución coherente. En los últimos años, Dinamarca fomenta con insistencia la sustitución de productos de mercurio, inclusive prohibiendo la venta y uso de la mayoría de ellos. Al igual que en otros países, se observa una disminución considerable del consumo de mercurio para usos intencionales. Como se puede ver en la tabla 8.3, durante el período de 1983 a 1993 el consumo anual de mercurio en usos intencionales bajó de unas 16 toneladas métricas en 1982/83 a 6 toneladas métricas en 1992/93, y siguió decreciendo hasta llegar a 1,5 toneladas métricas en 2000/2001. En el mismo período, las liberaciones de mercurio al medio ambiente se redujeron de aproximadamente 6,9-9,9 toneladas métricas en 1983, a 2,3-3,0 toneladas en 1993 (de las cuales 0,3-0,8 toneladas procedían de trazas de mercurio presentes en combustibles y minerales). Los depósitos en vertederos (controlados) aumentaron en el mismo período, pasando de 1,7-2,9 toneladas métricas a 2,3-4,5 toneladas, muy probablemente debido al aumento de la recolección de desechos peligrosos (que refleja el contenido de mercurio de las pilas y otros productos usados) y a una mejora en la filtración de las emisiones de los incineradores de desechos.

Tabla 8.3 *Estimación de los cambios ocurridos en el consumo anual de mercurio en Dinamarca (toneladas métricas-año). Ref. presentación del Consejo Nórdico de Ministros (sub84gov), según Maag et al. (1996), Hansen (1985) y Heron (2001).*

Consumo nacional de mercurio de Dinamarca	Año/uso	1982/83	1992/93	2000/2001
	Producción de cloro-álcali (suprimida en 1997)	3,00	2,50	0
	Amalgamas dentales	3,1	1,80	0,9
	Pilas de óxido de mercurio	2,40	0,36	0
	Otras pilas	2,30	0,28	~ 0
	Equipos de medición y control	0,53	0,50	0,3
	Interruptores eléctricos y electrónicos	0,34	0,30	~ 0
	Fuentes de luz (lámparas)	0,14	0,17	0,17
	Termómetros clínicos	0,75	0,05	0
	Otros termómetros	1,55	0,10	0
	Compuestos químicos de laboratorio	0,50	0,09	0,09
	Otros usos intencionales	1,48	0,03	0,03
	Subtotal de usos intencionales	16,09	6,18	1,5
	Impurezas de materiales de gran volumen, minerales y combustibles consumidos (movilizaciones no intencionales)	1,96	1,80	1,8
	Total	18,05	7,98	3,3

Nota: El sombreado indica gráficamente el cambio aproximado en cantidades de mercurio consumido a lo largo del tiempo.

## 8.2.2 Necesidad de nuevos adelantos en la búsqueda de sustitutos

620. Para eliminar completamente el uso de mercurio, se necesita más investigación y desarrollo en unas muy pocas aplicaciones, que representan una cantidad relativamente pequeña de consumo de mercurio (presentación del Consejo Nórdico de Ministros, sub84gov).

### Lámparas fluorescentes

621. Para sustituir el mercurio de lámparas fluorescentes, conocidas por su bajo consumo de energía, todavía no se dispone de alternativas listas para el comercio. Sin embargo, se ha estado trabajando para reducir la cantidad de mercurio que contienen las actuales. Lámparas que antes requerían 20-40 mg de mercurio cada una, ahora se pueden conseguir en el comercio con sólo 3 mg. Lamentablemente, los precios de las lámparas modernas de bajo contenido de mercurio no pueden competir con los de las lámparas que contienen mayor cantidad y los consumidores en general no distinguen las diferencias entre ellas.

622. Como alternativa de alto rendimiento energético, se ha propuesto el uso de diodos e incluso se los ha instalado últimamente en algunos semáforos. La intensidad de la fuente luminosa en esa aplicación parece comparable a la que se requiere para ciertos fines de habitación. Sin embargo, hasta que se generalice el uso de alternativas sin mercurio, las lámparas fluorescentes usadas se pueden recolectar y reciclar, o bien someter a un tratamiento de desechos adecuado. Se ha intentado aplicar esa medida en algunos países y localidades, pero en la mayoría de los casos ha sido difícil recolectar una buena proporción.

### Amalgamas dentales

623. Como se mencionó en el capítulo 6, las amalgamas dentales de mercurio contribuyen considerablemente a la carga humana de mercurio (metálico). Si bien se ha trabajado mucho para desarrollar una gama de alternativas, todavía no se ha llegado a un consenso sobre los sustitutos que pueden reemplazar adecuadamente las amalgamas de mercurio en todas las aplicaciones dentales. En Suecia y Dinamarca, se han venido aplicando desde hace varios años acuerdos voluntarios de sustitución y el consumo de mercurio en odontología ha disminuido considerablemente. En Dinamarca



se permite usar amalgamas de mercurio (hasta nuevo aviso) exclusivamente en molares que tienen empastes desgastados.

### **Análisis químicos estándar**

624. En varios análisis químicos estándar que son importantes y se usan desde hace tiempo se utilizan compuestos de mercurio. En general existen métodos sustitutivos sin mercurio; sin embargo, conviene mencionar esta cuestión, porque cambiar normas convenidas puede llevar tiempo. Por ejemplo, un análisis común que requiere mercurio es la determinación de la DQO (demanda química de oxígeno, es decir, la medición del contenido de materia orgánica), que se usa mucho para controlar y vigilar la calidad de las aguas residuales. Hay otros métodos de uso común para analizar la demanda de oxígeno; por ejemplo, la llamada DBO (demanda biológica de oxígeno). Sin embargo, el problema es que, para cumplir la reglamentación y obtener permisos individuales para descargar aguas residuales, es necesario hacer muchos análisis obligatorios que requieren específicamente la DQO; por lo tanto, es necesario cambiar esas disposiciones. Es algo posible de realizar, pero requiere atención y tiempo. El Gobierno de Suecia está considerando prohibir el uso de mercurio en productos químicos utilizados en análisis y reactivos a partir del 1º de enero de 2004.

## **8.3 Reducir las liberaciones de mercurio**

625. El procesado de recursos minerales a altas temperaturas, como la quema de combustibles fósiles, el calcinado y la fundición de minerales, el funcionamiento de hornos cementeros, la incineración de desechos y la fabricación de ciertos productos químicos, liberan a la atmósfera un número de elementos volátiles en cantidad de trazas.

626. Suele pensarse que una unidad de combustión – utilizada en general para la generación de energía o la incineración de desechos – equipada con un dispositivo de control de emisiones logra eliminar la mayor parte o la totalidad del mercurio y otros metales pesados que emite durante la combustión. Sin embargo, a diferencia de otros metales pesados, el mercurio tiene propiedades especiales, como se explica en el capítulo 6, que lo hacen difícil de capturar en muchos dispositivos de control. Si bien algunas unidades provistas de esos dispositivos pueden eliminar mercurio con bastante eficacia<sup>21</sup>, es probable que existan en el mundo decenas de miles de unidades de combustión que no tienen ningún dispositivo para lavar gases de chimenea, o bien, que tengan dispositivos que no son eficaces para eliminar mercurio.

627. Si bien esta sección trata principalmente de las emisiones de mercurio en la atmósfera, es necesario recordar que el mercurio es un contaminante persistente que también circula por otros medios (por ejemplo, el agua y el suelo). Además, se debe tener presente que el mercurio capturado por un dispositivo anticontaminación o desviado de un incinerador todavía puede ser liberado en el medio ambiente a menos que las escorias o residuos se manejen en forma adecuada.

628. Partes considerables del texto descriptivo de las secciones 8.3.1 a 8.3.4 se basaron en Pacyna y Pacyna (2000).

### **8.3.1 Naturaleza de las emisiones de mercurio**

629. Para apreciar a fondo la importancia de las distintas tecnologías de control de emisiones, primero es necesario examinar el contexto de las emisiones de mercurio (Pacyna y Pacyna, 2000, con las modificaciones aportadas por los comentarios de Estados Unidos a una versión preliminar del presente informe).

---

<sup>21</sup> Según datos reunidos por la *US EPA* en 1999 sobre emisiones de mercurio procedentes de servicios de electricidad, eficiencias de dispositivos anticontaminación y otras informaciones, la reducción de emisiones de mercurio efectuada por los controles actuales de otros contaminantes variaba entre 0 y más de 90%. En Estados Unidos, muchas unidades de incineración de desechos provistas de dispositivos anticontaminación están logrando niveles aún más altos de control de mercurio.

- Las concentraciones de mercurio en los distintos tipos de carbón y fueloil varían considerablemente según el tipo de combustible y su origen. El mercurio que se encuentra en el carbón puede estar asociado con los constituyentes orgánicos e inorgánicos (materia mineral) del carbón. Cuando está asociado con materias minerales como los sulfuros, a menudo se lo puede eliminar por métodos físicos de depuración del carbón. La eliminación del mercurio de la fracción orgánica del carbón es mucho más difícil y costosa.
- La mayor parte de los procesos que generan emisiones atmosféricas de mercurio emplean altas temperaturas. Durante esos procesos, entre ellos la quema de combustibles fósiles, incineración de desechos, calcinado y fundición de metales ferrosos y no ferrosos, y la producción de cemento, el mercurio introducido con los insumos se volatiliza y convierte en mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ) en la región de altas temperaturas del proceso. Cuando los gases de chimenea se enfrían hasta llegar a las temperaturas del proceso de depuración de gases, el mercurio puede permanecer en forma de  $\text{Hg}^0$  o se puede oxidar en parte para dar mercurio iónico [ $\text{Hg(II)}$ ]. Además, el  $\text{Hg}^0$  y/o el  $\text{Hg(II)}$  pueden adsorberse sobre partículas [ $\text{Hg(p)}$ ]. La magnitud relativa de las formas  $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Hg(II)}$  y  $\text{Hg(p)}$  presentes en los gases de chimenea se llama especiación del mercurio.
- La oxidación del mercurio puede ocurrir en reacciones de fase gaseosa o gas-sólido (reacciones heterogéneas). En experimentos de laboratorio y estudios termoquímicos se ha podido determinar que dos posibles agentes oxidantes son el cloro atómico ( $\text{Cl}^\cdot$ ) y el óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ). Estudios sobre el equilibrio termoquímico indican que el producto de oxidación más común es el  $\text{HgCl}_2$  si hay suficiente cloro en el combustible o los desechos (por ejemplo, cuando el gas de chimenea tiene una concentración de cloro considerablemente mayor que la de mercurio). La ceniza volante y otras superficies presentes en el sistema de combustión pueden catalizar o mediar las reacciones de oxidación del mercurio. Los principales factores que inciden en la especiación del mercurio son la composición del combustible o los desechos, las condiciones de la combustión y el tipo de método utilizado en la depuración de los gases de chimenea.
- Las cantidades de mercurio emitidas a la atmósfera por una misma industria varían según las diversas tecnologías que se utilicen. En el caso de las centrales térmicas convencionales, se puede generalizar que el diseño de la planta, en particular la configuración de los quemadores, las características de la ceniza volante, etc. inciden en las emisiones<sup>22</sup>.
- Los principales parámetros que determinan la cantidad y características del mercurio emitido a la atmósfera en los procesos de altas temperaturas son la cantidad y especiación del mercurio que

---

<sup>22</sup> Tanto las calderas de ciclón como las de carbón pulverizado (CP) funcionan a temperaturas que volatilizan el mercurio presente en el carbón y lo convierten a  $\text{Hg}^0$  en las regiones de altas temperaturas de la cámara de combustión. La diferencia en las emisiones de mercurio en los gases de chimenea de esos dos tipos de unidades probablemente se debe a la cantidad y características de las cenizas volantes. En las unidades de ciclón, la mayor parte de la materia mineral se convierte en escoria, que se elimina fundida en la parte inferior de la unidad de combustión. Una cantidad relativamente pequeña de materia mineral se convierte en ceniza volante, que a su vez contiene una cantidad relativamente pequeña de carbón sin quemar. En las calderas de CP, aproximadamente 90% de la materia mineral de carbón se convierte en ceniza volante. El uso de quemadores de baja emisión de  $\text{NO}_x$  tiende a aumentar la cantidad de carbono de la ceniza volante, aumentando la cantidad de mercurio que se adsorbe y luego se captura como  $\text{Hg(p)}$  en un precipitador electrostático (PE) o un filtro de tejido (FT) situado posteriormente en el proceso.

Se ha observado un fenómeno similar en sistemas que queman desechos sólidos municipales. Algunos incineradores de pantalla de tubos de agua, que queman desechos no acondicionados, producen una muy buena combustión y bajas concentraciones de cenizas volantes. Las unidades bien operadas, equipadas con secadores por atomización y filtros de tejido registran poca captura de mercurio, si acaso alguna. Por otra parte, las pruebas realizadas por Estados Unidos con una cámara de combustión alimentado con combustibles derivados de desechos provisto de secador de atomización y filtros de tejido mostró capturas de mercurio que oscilaban entre 96 y 99%. De manera similar, los incineradores de lecho fluidizado en general emiten cantidades relativamente grandes de cenizas volantes con alto contenido de carbono. Si bien el aumento de la captura de mercurio por la ceniza volante a veces se correlaciona con bajas emisiones de  $\text{NO}_x$ , no parece existir una relación de causa y efecto entre la concentración de  $\text{NO}_x$  en los gases de chimenea y la captura de mercurio.

entra en los dispositivos de depuración de gases de chimenea, el tipo de dispositivo de depuración utilizado, las concentraciones de otros constituyentes (cloro, NO<sub>x</sub>), y la temperatura con que funcionan los dispositivos de depuración.

### 8.3.2 Opciones disponibles

630. Las opciones disponibles para reducir las liberaciones de mercurio de diversos procesos se pueden organizar en dos categorías, según se empleen tecnologías con o sin controles.

631. Las opciones más conocidas de tecnologías sin controles comprenden medidas como las siguientes:

- Conversión a tecnologías generadoras de energía de gas natural, petróleo o combustibles no fósiles;
- Aumento de la eficiencia energética (la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> prevista en el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se espera que disminuya las emisiones de mercurio procedentes de la generación de energía a partir de combustibles fósiles);
- Prohibición de usar mercurio en productos;
- Impuestos u otras medidas disuasorias del uso de mercurio en productos, y
- Etiquetado de productos.

632. La prohibición y los impuestos son razonablemente explícitos. El etiquetado de productos tiene ventajas y desventajas, pero ha demostrado ser bastante eficaz en algunos casos, en combinación con otras medidas. Por ejemplo, en el caso de las pilas, los consumidores prestaron mucha atención a las etiquetas relativas al contenido de mercurio y cadmio.

633. Las opciones de tecnologías con controles para reducir las liberaciones se pueden dividir en las tres categorías siguientes, que se tratan en mayor detalla en la próxima sección:

- A. Medidas pretratamiento
- B. Modificaciones de la combustión, y
- C. Depuración de los gases de chimenea o técnicas de control de fin de ciclo (“end-of-pipe”).

634. Cabe señalar que las descripciones de técnicas y tecnologías de reducción de emisiones que se señalan a continuación son generales y no tienen el objeto de recomendar métodos o equipos para controlar las liberaciones de mercurio de determinado sitio o planta. En definitiva, la idoneidad y eficacia de cualquier técnica o tecnología son propias del sitio y se deben tomar en consideración las circunstancias locales.

### 8.3.3 Reducción de las emisiones de mercurio de calderas de centrales térmicas y otras industrias, y de incineradores<sup>23</sup>

#### A. Medidas pretratamiento

635. Las medidas pretratamiento en general incluyen el lavado de carbón, la clasificación manual de desechos en un incinerador o sitio de eliminación, la producción de combustibles derivados de desechos en el sitio del incinerador o la separación de desechos en una instalación de manipulación y reciclaje de materiales.

#### B. Modificaciones de la combustión

636. Las modificaciones de la combustión son cambios que se pueden efectuar en el proceso de combustión para reducir las concentraciones de mercurio en el gas de chimenea o cambiar las

---

<sup>23</sup> Se invita al lector a consultar *US EPA* (1998), Brown *et al.* (1999) y *US EPA* (2002), donde encontrará muchos más detalles sobre avances recientes de Estados Unidos en este campo..

características del flujo de gas de chimenea para poder capturar más fácilmente el mercurio en el equipo de depuración de gas de chimenea corriente abajo. Las modificaciones pueden incluir el uso de tecnologías como una cámara de combustión de lecho fluidizado, un combustor de desechos sólidos no acondicionados provisto de quemador de pantalla de agua (MB/WW), un quemador de baja emisión de NO<sub>x</sub>, etc.

637. Por ejemplo, las tecnologías de baja emisión de NO<sub>x</sub> basadas en modificaciones de la combustión deberían reducir las emisiones de mercurio en los gases de escape debido a las temperaturas de operación más bajas; sin embargo, como la información disponible sobre esta tecnología es muy limitada, es difícil sacar conclusiones sólidas. Según algunas fuentes, se puede lograr una reducción razonable, pero según resultados preliminares obtenidos con combustiones escalonadas en unidades de combustión atmosférica en lecho fluidizado (AFBC), la baja emisión de NO<sub>x</sub> tiene poco efecto en las emisiones de elementos traza.

638. Cambiar de combustible para utilizar uno del mismo tipo pero con menor contenido de mercurio, que no implica pretratamiento, puede considerarse también una modificación de la combustión.

639. Otros ejemplos de modificaciones que se pueden hacer para mejorar la captura de mercurio son las técnicas de modificación de la combustión que aumentan el contenido de carbono y la capacidad subsiguiente de la ceniza volante para adsorber mercurio. El aumento del contenido de carbono de la ceniza volante tiene lugar durante el uso de quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub> o el uso de una tecnología de control de NO<sub>x</sub> llamada requema. Tiene lugar en regiones del sistema de combustión ricas en combustible. Si bien se ha mostrado que la captura de mercurio aumenta al aumentar el carbono de la ceniza volante, ese fenómeno no se ha aprovechado en la práctica comercial para controlar emisiones de mercurio, pero debería considerarse una posibilidad de control que podría estar disponible en el futuro.

### **C. Tratamiento de gases de chimenea o técnicas de control de fin de ciclo (“end-of-pipe”)**

640. Para controlar el SO<sub>2</sub>, los NO<sub>x</sub>, y las MP, se está utilizando actualmente el tratamiento de gases de chimenea o técnicas de fin de ciclo ("end-of-pipe"). Para controlar el SO<sub>2</sub>, se puede usar una variedad de depuradores secos y húmedos; los NO<sub>x</sub>, una reducción selectiva catalítica o no catalítica, y las MP, filtros de tejido o precipitadores electrostáticos. Se han hecho muchas pruebas de las capacidades de estos sistemas para eliminar mercurio en una amplia gama de calderas de centrales termoeléctricas de Estados Unidos. En promedio, las reducciones variaban entre 0 y 96%, dependiendo de una variedad de factores que se describen en mayor detalle más adelante. En términos generales:

- Una determinada tecnología o combinación de tecnologías produjo una gama de reducciones de mercurio para cualquiera de los tipos de carbón;
- El tipo de carbón incidió mucho en el control de mercurio logrado. En promedio, el porcentaje de eliminación de mercurio aumentó al aumentar el “rango” del carbón, desde lignita, pasando por subbituminoso hasta llegar a bituminoso. Dentro de cada rango, se logró toda una gama de reducciones. Obsérvese que los carbones del mundo abarcan una gama más amplia de rangos (incluyen, por ejemplo, el carbón pardo) y características (por ejemplo, azufre, ceniza) que los carbones de Estados Unidos.

641. Se puede lograr un control adicional del mercurio inyectando un sorbente (a base de carbón y/o calcio) antes de aplicar el sistema de tratamiento de gases de chimenea. Esas tecnologías están en fase de desarrollo y demostración en Estados Unidos, pero aún no se comercializan.

642. Las investigaciones realizadas hasta el momento indican que el método más rentable de control de mercurio podría ser una tecnología integrada de control de múltiples contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, MP y mercurio). Varias de esas tecnologías se encuentran actualmente en la etapa de desarrollo a escala piloto en Estados Unidos, pero en general todavía no se han demostrado a escala normal. Una experiencia reciente realizada en Suecia demostró la eficiencia económica y técnica de esos sistemas en

incineradores de desechos y quemadores de servicios eléctricos de escala real (Hylander *et al.*, 2002, citado en comentarios de la Universidad de Uppsala, Suecia).

643. Es necesario evaluar el posible impacto de la tecnología de control de mercurio en la utilización de subproductos y/o en las necesidades de eliminación. Por ejemplo, el aumento de la concentración de mercurio en el yeso recogido en los depuradores de gases de chimenea puede exceder el nivel permitido en los paneles murales, o el aumento del contenido de carbono en los subproductos puede limitar su uso en la pavimentación de carreteras. Además, los subproductos deben estar en una forma estable para poder eliminarlos si no se pueden utilizar. Cualquiera de esos posibles impactos podría afectar la rentabilidad del proceso.

644. Los principales mecanismos de captura de mercurio incluyen la adsorción de ese metal en superficies sólidas y la solvatación de mercurio en depuradores líquidos. El mercurio se puede adsorber sobre ceniza volante o partículas de sorbente arrastradas para su posterior captura en dispositivos de control de materias particuladas (MP). Asimismo, el mercurio se puede capturar en torres de filtración con una variedad de sorbentes.

645. La distribución de mercurio en los diversos flujos de los sistemas de desulfuración de gases de combustión (DGC) se ha estudiado en varios países. Esos estudios han demostrado que la captura de mercurio en sistemas de DGC húmedos depende del rango del carbón que se quema, y del diseño y condiciones de funcionamiento del sistema de DGC. En esos estudios, los depuradores de DGC húmedos en general estaban precedidos por dispositivos de control de MP (es decir, precipitadores electrostáticos o filtros de tejido). La cantidad total de mercurio capturado en una caldera equipada con un depurador dependía de la cantidad de mercurio capturado en el dispositivo de control de MP situado en una etapa anterior del proceso (corriente arriba) y el  $\text{Hg}^{2+}$  soluble capturado por el depurador. Los gases de escape de las unidades que quemaban carbón bituminoso contenían niveles más altos de  $\text{Hg}^{2+}$  que los gases de la combustión de carbones de rango inferior; ese mercurio fue rápidamente capturado en el dispositivo de control de MP y el depurador situado corriente abajo. El mercurio de los gases de escape de las unidades que quemaban carbones de rango inferior solía estar en la forma  $\text{Hg}^0$ , y la captura de mercurio en esas unidades en general era mínima. Es necesario controlar la química de los depuradores para asegurar que el  $\text{Hg}^{2+}$  que se disuelve en el licor de esos dispositivos no se vuelva a convertir en  $\text{Hg}^0$  y sea arrastrado otra vez en el gas de chimenea. Los lodos de los depuradores también se deben manipular de forma aceptable desde el punto de vista ambiental.

646. Pacyna señaló que algunos sistemas de DGC húmedos no pueden eliminar más del 30% del mercurio presente en el gas de chimenea, pero en general la eficiencia de la eliminación varía entre 30 y 50% (Pacyna y Pacyna, 2000). Varios ensayos de corta duración realizados en Estados Unidos han logrado reducir emisiones de unidades alimentadas con carbones bituminosos, en porcentajes que oscilan entre 40 y 95%. El mejor porcentaje de captura se ha conseguido en una unidad equipada con un filtro de tejido y un depurador de caliza húmeda (un tipo de DGC).

647. Las formas solubles de mercurio se pueden capturar en depuradores húmedos. Las formas solubles de mercurio incluyen cloruro de mercurio [ $\text{Hg}(\text{Cl}_2)$ ] y otras formas iónicas de mercurio. El  $\text{Hg}^0$  es relativamente insoluble en soluciones acuosas y debe ser adsorbido en un sólido u oxidado a una forma iónica que se pueda capturar en la depuración. Los sistemas de DGC húmedo utilizados en unidades que queman carbón bituminoso (que emiten relativamente más mercurio iónico soluble en agua) son más eficaces que los sistemas empleados en unidades que queman carbón subbituminoso (que emiten relativamente más mercurio elemental insoluble).

648. Los principales factores que inciden en la especiación son la composición del combustible (o los desechos), las condiciones de combustión y el tipo de métodos de depuración de gases de chimenea que se emplea. El rango del carbón y el contenido de cloro son factores sumamente importantes en la especiación y la captura de mercurio con diferentes tipos de tecnologías de control de la contaminación atmosférica. En Estados Unidos, los carbones bituminosos suelen tener concentraciones relativamente altas de cloro (Cl), lo cual puede resultar en la oxidación de  $\text{Hg}^0$  a  $\text{Hg}^{2+}$  (principalmente  $\text{HgCl}_2$ ). El  $\text{Hg}^{2+}$  se puede adsorber sobre el carbono de cenizas volantes y capturar en precipitadores electrostáticos

o filtros de tejido. Las calderas alimentadas con carbón bituminoso pulverizado equipadas con precipitadores electrostáticos o filtros de tejido pueden registrar capturas totales de mercurio que oscilan entre 20% y más de 90%. Los niveles más altos de captura se cree que están asociados con un contenido más alto de carbono en las cenizas volantes. Sin embargo, el carbono de las cenizas volantes puede tener consecuencias negativas para su uso como subproducto en el hormigón, así como en el consumo específico de calor de la planta. Las unidades que queman carbón bituminoso y que están equipadas con depuradores de DGC secos o húmedos también registran niveles altos de captura de mercurio. En comparación, los carbones de bajo rango de Estados Unidos (carbón subbituminoso y lignita) son alcalinos, y tienen un contenido de cloro relativamente bajo y cenizas volantes con bajo contenido de carbono. El mercurio de los escapes de las plantas que queman carbones de bajo rango suele encontrarse predominantemente en la forma  $\text{Hg}^0$ . La cantidad de mercurio capturada en los gases de chimenea de esas plantas suele ser reducida, ya sea que las unidades estén equipadas con precipitadores electrostáticos, filtros de tejido o depuradores de DGC secos o húmedos.

649. Los métodos convencionales de medición del mercurio se deben ejecutar con cuidado a fin de determinar con eficacia la distribución crítica de la especiación (es decir,  $\text{Hg}^0/\text{Hg}^{2+}$ ). Además, actualmente están en etapa de desarrollo y evaluación sobre el terreno unos dispositivos de vigilancia continua de emisiones, destinados a proporcionar una determinación directa del  $\text{Hg}^0$  total y/o  $\text{Hg}^0$  y  $\text{Hg}^{2+}$ .

#### **(1) Sistemas de DGC húmedos**

650. En varios países se ha estudiado la distribución del mercurio en diversos flujos del sistema de DGC húmedo. Las temperaturas relativamente bajas de los sistemas de depuración húmeda ayudan a condensar muchos de los elementos traza más volátiles que se encuentran en la fase de vapor, lo cual permite eliminarlos de los gases de chimenea. Debido a las características especiales del mercurio, las instalaciones de DGC húmedas a veces no son capaces de eliminar más del 30% del mercurio de los gases de escape. En general, sin embargo, la eficiencia de eliminación del mercurio oscila entre 30 y 50% (Pacyna y Pacyna, 2000).

651. La eliminación de elementos traza de los gases de escape por medio de sistemas de DGC húmedos ha sido estudiada en los Países Bajos, donde sólo se utilizan calderas de fondo seco alimentadas con carbón pulverizado, equipadas con un precipitador electrostático de alta eficiencia y un sistema de DGC que consiste en un proceso húmedo de cal/caliza-yeso con “predepurador”. Lo que más utilizan como combustible son carbones bituminosos (de contenido de mercurio más bajo), importados principalmente de Estados Unidos y Australia. En uno de los estudios, la concentración de mercurio corriente arriba del sistema de DGC era de  $3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y, corriente abajo, de  $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La distribución relativa del mercurio en las cenizas residuales, la ceniza de combustible pulverizado recolectada y la ceniza volante de los gases de chimenea y la fase de vapor era de alrededor de 10% sobre las partículas finas y de alrededor de 90% en la fase de vapor. Un 87% del mercurio contenido en el carbón se liberó en los gases de chimenea y hasta un 70% de esa cantidad se eliminó mediante el sistema de DGC húmedo. Alrededor del 60% de la eliminación de mercurio se realiza en el predepurador y, aproximadamente un 40%, en el depurador principal. Las etapas de la eliminación del mercurio se sintetizan en la figura 8.2. (Pacyna y Pacyna, 2000).

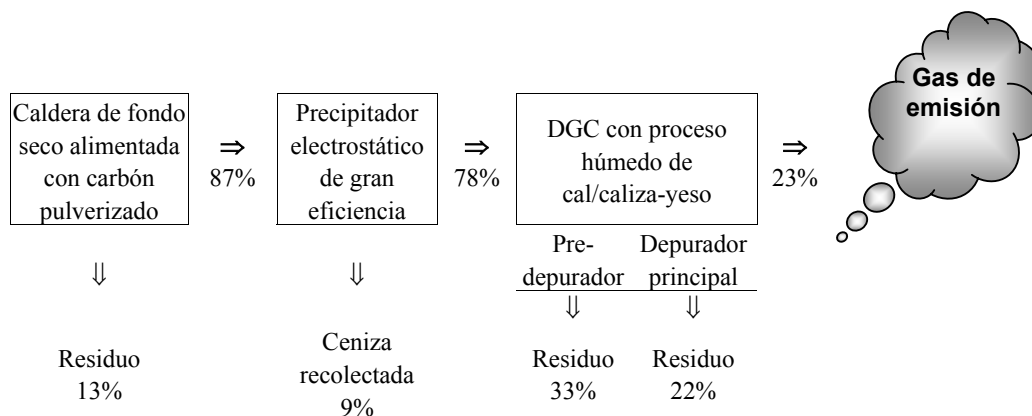


Figura 8.2 Reducción de las emisiones de mercurio con sistemas de DGC húmedos

652. Es difícil hacer balances de masas de mercurio. Dependen de las configuraciones de los equipos y las condiciones de funcionamiento de cada sitio. Por ejemplo, la repartición del mercurio entre la ceniza residual (residuo), la ceniza volante recolectada, los residuos del depurador, y las emisiones de chimenea pueden variar sustancialmente, dependiendo del rango del carbón, el diseño de la caldera, las condiciones de funcionamiento de la planta y los métodos de depuración de gases de chimenea que se han empleado.

## (2) Sistemas de DGC secos

653. En Escandinavia y Estados Unidos se ha estudiado el uso de secadores de atomización para retener mercurio en fase de vapor en cámaras de combustión de carbón e incineradores. En síntesis, la eliminación general de mercurio mediante diversos sistemas de secado por atomización variaba entre 35 y 85%. Las mayores eficiencias de eliminación se lograron con sistemas de secado por atomización provistos de filtros de tejido instalados corriente abajo (Pacyna y Pacyna, 2000).

## (3) Emisiones de partículas portadoras de mercurio

654. Las centrales térmicas alimentadas con carbón y los incineradores municipales están generalmente equipados con precipitadores electrostáticos (PE) o filtros de tejido (FT). Los precipitadores electrostáticos son particularmente eficientes para eliminar todo tipo de partículas con diámetros mayores de 0,01  $\mu\text{m}$ , incluyendo las que llevan mercurio tras su condensación en los gases de escape. Las partículas que contienen elementos traza se concentran sobre todo en dos gamas de tamaño: 1) en torno a 0,15  $\mu\text{m}$  de diámetro, y 2) entre 2 y 8  $\mu\text{m}$  de diámetro. Se puede encontrar mercurio en partículas de ambas gamas de tamaño. Los precipitadores electrostáticos pueden tolerar temperaturas de hasta 720 K (Pacyna y Pacyna, 2000).

655. Los filtros de tejido también se usan en centrales térmicas alimentadas con carbón. La eficiencia de recolección de partículas (que no es lo mismo que la eficiencia de recolección de mercurio) siempre es muy grande e, incluso en el caso de partículas de 0,01  $\mu\text{m}$  de diámetro, excede de 99%. Sin embargo, la durabilidad de los FT depende mucho de la temperatura de trabajo y la resistencia de los filtros al ataque químico de elementos corrosivos presentes en los gases de escape. La temperatura de los gases de escape a menudo supera la tolerancia del material de los filtros de tejido y, por lo tanto, limita la aplicación de éstos (Pacyna y Pacyna, 2000). Según comentarios de Estados Unidos, ese país dispone de filtros de tejido capaces de resistir temperaturas que se dan en las calderas alimentadas con carbón.

656. En las calderas de servicios de electricidad se usan varias otras tecnologías de control y distintas combinaciones. La tabla 8.4 presenta una síntesis de la mayoría de las tecnologías de control usadas más comúnmente en las calderas de los servicios de electricidad de América del Norte (centrales generadoras de electricidad) y su eficacia para reducir las emisiones de mercurio y otros contaminantes, mientras que la tabla 8.5 presenta algunas mediciones más recientes de emisiones de mercurio en Estados Unidos (US EPA, 2002).

Tabla 8.4 *Tecnologías de control utilizadas en calderas de servicios de electricidad de América del Norte (NEG/ECP, 2000)*

Tecnología	Eficacia para controlar el mercurio	Control de otros contaminantes	Notas sobre disponibilidad y otras cuestiones
Reducción catalítica selectiva (RCS)	Desconocida	Reducción de 30-60% de NO <sub>x</sub>	Disponible y utilizada en calderas de servicios públicos. Ligera reducción de la eficiencia de las calderas.
Reducción catalítica selectiva	La combinación de RCS + depurador húmedo puede lograr una reducción sustancial de mercurio (véase más adelante)	Reducción de NO <sub>x</sub> de 70->90%	Disponible y utilizada en centrales eléctricas más grandes. Ligera reducción de la eficiencia de las calderas. El catalítico de la RCS puede aumentar la oxidación del mercurio elemental para dar mercurio divalente, que se puede capturar en un depurador húmedo usado para el control del SO <sub>2</sub> . La capacidad de la RCS para aumentar la oxidación del Hg a fin de capturarlo en los depuradores puede ser muy específica del carbón utilizado.
Quemadores de baja emisión de NO <sub>x</sub>	Ninguna	Reducción posible >50% NO <sub>x</sub>	Disponible y en uso en la mayor parte de las calderas alimentadas con carbón. La modernización de instalaciones mediante RCS y RNCS ofrece un control adicional de NO <sub>x</sub> que complementa los quemadores de baja emisión de NO <sub>x</sub> . Se ha postulado que los QBN aumentan la captura de mercurio debido al aumento de la cantidad de carbón sin quemar (es decir, pérdida de carbón en la ignición) en el flujo de gas de chimenea que puede actuar de manera semejante a una inyección de carbón activado.
Depuración de carbón	0-78%	Reducción promedio de 48% en el potencial de emisión de SO <sub>2</sub>	Ya se hace con la mayor parte del carbón del este y centro-oeste para reducir el azufre y aumentar el rendimiento de las calderas. La eliminación de mercurio es muy variable, en general oscila entre 10% y 50%, con una media de 21%. Están en desarrollo métodos más avanzados de depuración de carbón.
Depurador húmedo	Hasta 90% de eliminación de Hg oxidado. No se elimina Hg elemental	Eliminación de 80->90% de SO <sub>2</sub>	Ya se usa para reducir SO <sub>2</sub> . La eficacia para eliminar Hg depende mucho de la mezcla de especies químicas presentes y de otros factores, entre ellos la proporción líquido-gas, contenido de cloro y tipo de carbón.
Combinación de RCS y depurador húmedo	Es posible eliminar >80% del Hg general en unidades alimentadas con carbón bituminoso; en este momento no se conoce con certeza su eficacia en unidades alimentadas con carbón subbituminoso.	Es posible lograr una eliminación de >90% del SO <sub>2</sub> y >90% de los NO <sub>x</sub>	Ya se usa RCS para reducir los NO <sub>x</sub> . Ayuda a convertir el Hg elemental en una forma soluble, oxidada, permitiendo así una mayor eliminación en el depurador húmedo situado corriente abajo. Las conclusiones se basan en datos limitados pero alentadores. La capacidad de la RCS para aumentar la oxidación del Hg a efectos de su captura en los depuradores puede ser muy específica del carbón utilizado.
Depurador seco con precipitador electrostático o filtro de tejido	6-9% según señalado por NEG/ECP; estudios recientes de la EPA indican una eliminación promedio de aprox. 63%	Eliminación de 80-90% del SO <sub>2</sub>	Se usa en sólo 1% de las calderas de Estados Unidos (la mayoría de las unidades aplican depuradores húmedos). La eficiencia de eliminación del Hg depende de la especiación, temperatura y contenido de cloro. En las pruebas piloto, los que logran una mejor eliminación de mercurio son los depuradores de cal.
Precipitador electrostático (PE)	0-82% (PE situado del lado frío) según señalado por NEG/ECP; la EPA observó una eficacia de 36% para el carbón bituminoso y 3% para el subbituminoso (véase la tabla 8-5)	Eliminación de MP de >99%	Ya se usa para eliminar partículas. La temperatura más baja mejora el rendimiento del PE. La US EPA observó una eficiencia de eliminación del Hg de 42-83% en calderas de fuelóleo.
Filtro de tejido (filtro de manga)	0-73% según señalado por NEG/ECP; la EPA observó una eficacia de 90% para el carbón bituminoso y 72% para el subbituminoso (véase la tabla 8-5)	Eliminación de MP de >99%	Al parecer, sólo los filtros que ofrecen eficiencias de recolección >99% reducen cantidades significativas de Hg, pero los datos son limitados. Las temperaturas más bajas parecen mejorar el rendimiento. Los filtros de manga son más eficaces que los PE para controlar el mercurio.
PE perfeccionados	0-50% en una unidad de prueba	Eliminación de MP de >99%	Los PE más eficaces actualmente en desarrollo para capturar partículas más finas pueden eliminar más Hg. En una unidad de prueba, la eliminación de Hg aumentó con temperaturas más bajas.



Tecnología	Eficacia para controlar el mercurio	Control de otros contaminantes	Notas sobre disponibilidad y otras cuestiones
PE húmedos	Alrededor de 30% en 2 estudios a escala piloto	Eliminación media de MP de 56% en estudios piloto	Se están estudiando PE húmedos para “pulir” emisiones residuales de otros dispositivos de control. Pueden aumentar la eliminación de mercurio. La temperatura más baja mejora el control de Hg.
Combinación de filtros de manga y PE	34-87% en 2 instalaciones piloto	Eliminación de PM de >99%	La combinación de tecnologías que se emplea para lograr emisiones muy bajas de MP puede aumentar la eliminación de Hg y otros tóxicos si se usa conjuntamente con carbón activado en polvo.
Inyección de carbón	Los resultados de una prueba reciente a escala real indican una eliminación de aprox. 80% con carbón bitumin.+PE+COHPAC y 55-60% con carbón subbituminoso+PE.	No aplicable	El costo y la eficacia de eliminación se relacionan directamente con la cantidad de carbón utilizada. El carbón usado puede crear un problema de eliminación de desechos peligrosos. La inyección de carbón en calderas de centrales eléctricas está actualmente en la etapa de desarrollo y demostración, pero todavía no se comercializa.
Cambio de combustible	>99% para el gas natural	Control de SO <sub>2</sub> y MP de >99%; reducción de los NO <sub>x</sub> de 50-75%	El cambio de combustible reduce muchos contaminantes, incl. NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , materias particuladas y CO <sub>2</sub> . Si se toman en cuenta los beneficios de reducir a la vez muchos contaminantes, se reducen los costos de control del mercurio por sí solo. Los costos dependen de varios factores, entre ellos el costo de los combustibles, costos de control de otros contaminantes, consumo específico de calor, edad de las instalaciones, factor de capacidad, costos de inversión de centrales nuevas y tasas de descuento.

Abreviaturas: RNCS - Reducción no catalítica selectiva PE - Precipitador electrostático  
RCS - Reducción catalítica selectiva MP - Materia particulada  
QBN - Quemador de baja emisión de NO<sub>x</sub>

Tabla 8.5 Medidas recientes obtenidas con tecnologías de control de mercurio en Estados Unidos (US EPA, 2002)

**Captura promedio de mercurio según las configuraciones existentes de controles posteriores a la combustión utilizados en calderas alimentadas con carbón pulverizado**

Estrategia de control post-combustión	Configuración del dispositivo de control de emisiones post-combustión	Captura promedio de mercurio según la configuración de control		
		Carbón utilizado en la caldera de carbón pulverizado		
		Bituminoso	Subbituminoso	Lignita
Control de MP exclusivamente	PE-LF	36 %	3 %	-4 %
	PE-LC	9 %	6 %	No ensayado
	FT	90 %	72 %	No ensayado
	DP	No ensayado	9 %	No ensayado
Control de MP y adsorbedor de secador por atomización	ASA+PE	No ensayado	35 %	No ensayado
	ASA+FT	98 %	24 %	0 %
	ASA+FT+RCS	98 %	No ensayado	No ensayado
Sistema de DGC húmedo y de control de MP (a)	DP+DGC	12 %	-8 %	33 %
	PE-LF+DGC	74 %	29 %	44 %
	PE-LC+DGC	50 %	29 %	No ensayado
	FT+DGC	98 %	No ensayado	No ensayado

(a) Captura estimada por ambos dispositivos de control  
PE-LF - Precipitador electrostático del lado frío  
RCS - Reducción catalítica selectiva  
PE-LC - Precipitador electrostático del lado caliente  
FT - Filtro de tejido  
DP - Depurador de partículas  
ASA - Sistema adsorbente de secador por atomización  
DGC - Desulfuración de gases de combustión

657. Algunas tecnologías de control sirven para reducir emisiones de más de un contaminante y, de hecho, la mayoría de ellas tienen el objeto de tratar emisiones productoras de lluvias ácidas. Por ejemplo, los depuradores húmedos sirven para reducir tanto el SO<sub>2</sub> como el mercurio. Se ha observado que la tecnología destinada a la reducción de NO<sub>x</sub> (reducción catalítica selectiva; RCS) también oxida el mercurio elemental, que se puede capturar eficazmente en un depurador húmedo situado corriente abajo. La conversión (cambio de combustible) de calderas de carbón para que quemen gas natural (en una caldera de gas de ciclo simple o una turbina de gas de ciclo combinado) ofrece muchas posibilidades para reducir emisiones de SO<sub>2</sub> y mercurio (casi 100%) y NO<sub>x</sub> (de 70 a 80%). Los filtros de manga (FT) y precipitadores electrostáticos (PE) controlan partículas finas y algo de mercurio, mientras que la combinación de los dos reduce sustancialmente las emisiones de mercurio. Esos son ejemplos de cómo los controles destinados a reducir múltiples contaminantes pueden reducir las emisiones de mercurio, aunque los controles específicos del mercurio puedan no ser económicamente factibles (NEG/ECP, 2000).

658. El Gobierno de Estados Unidos, el medio académico y la industria están colaborando, con algún apoyo de Canadá, en diversos programas destinados a determinar en qué grado se puede reducir el mercurio de las centrales eléctricas de carbón de manera asequible.

### Conclusiones acerca del control secundario de emisiones

659. Se debe recordar que las características de la materia prima, el proceso de combustión (u otro proceso a alta temperatura) y las especificaciones del equipo de control inciden en las posibles emisiones de mercurio del escape generado por cada planta. Por ejemplo, el mercurio capturado con la ceniza volante procedente de una caldera alimentada con carbón bituminoso equipada con un PE o un FT puede oscilar entre 36 y 90%, como se vio en la tabla 8.5. Plantas alimentadas con carbón subbituminoso o lignita e igualmente equipadas pueden registrar una eliminación del mercurio asociado a la ceniza volante que varía entre 0 y 30% del mercurio. Si la planta también está provista de un depurador húmedo con DGC (y dependiendo del tipo de carbón que queme y del diseño del depurador), también se puede capturar casi todo el Hg<sup>2+</sup> restante. En Estados Unidos se han registrado niveles de eliminación de mercurio de sólo 10% y de hasta 95% en calderas de centrales eléctricas alimentadas con carbón y equipadas con depuradores húmedos de caliza con DGC (US EPA, 2002). Según datos del Departamento de Energía de Estados Unidos, si el carbón se depura antes de la combustión, ya con ese proceso se puede eliminar generalmente 10 a 50% del mercurio (US EPA, 1998). La figura 8.3 hace una síntesis simple de las tecnologías de control más comunes, mientras que la tabla 8.6 pasa una breve revista a otras aplicaciones comunes.

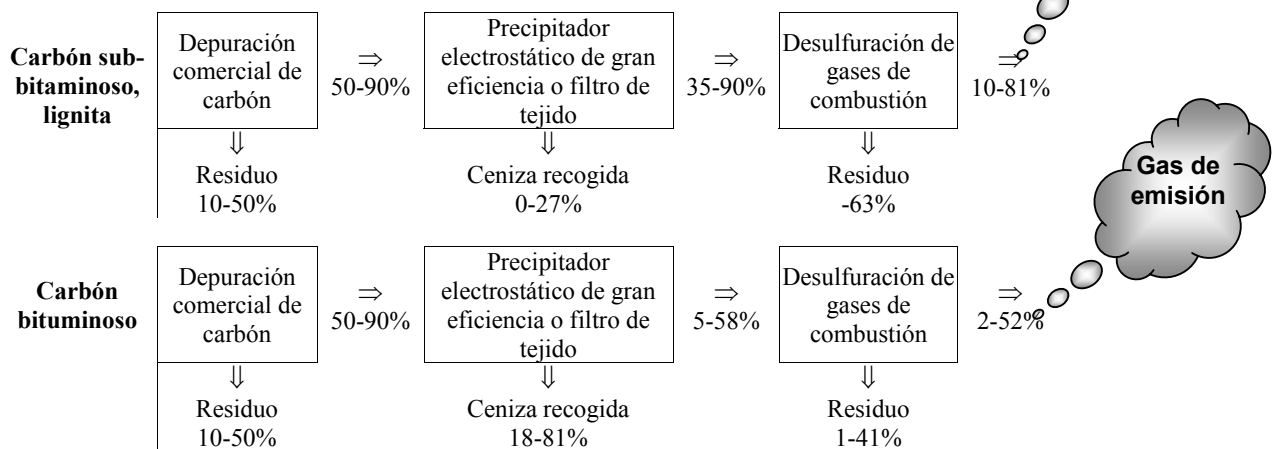


Figura 8.3 Reducción de las emisiones de mercurio de las calderas de centrales eléctricas – eficiencias típicas de las tecnologías más importantes

660. Las eficiencias de eliminación del mercurio que aparecen en la figura 8.3 se pueden comparar con los resultados impresionantes registrados en una unidad de combustión de carbón situada en el noreste de China, que se muestra en la figura 8.4.

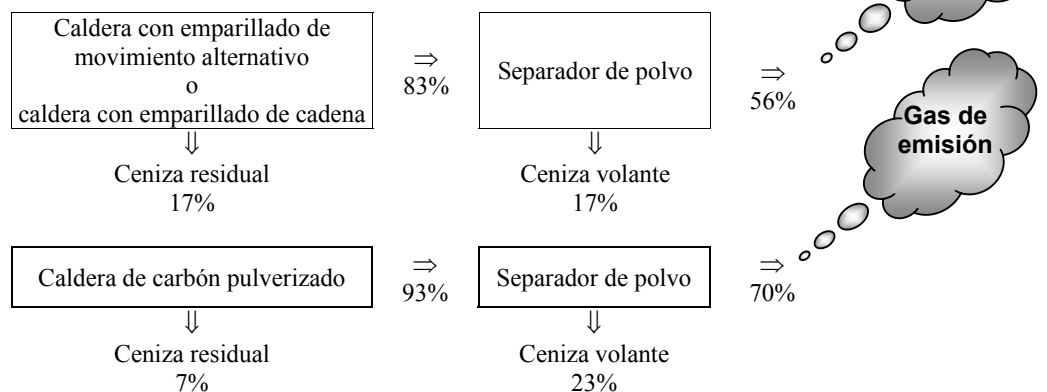


Figura 8.4 Reducción de emisiones de mercurio de la combustión de carbón en China (Wang et al., 2000)

Tabla 8.6 Eficiencia de tecnologías comunes de control de mercurio para calderas de centrales eléctricas (basado en Pirrone et al., 2001)

Fuente de emisión y tecnologías de control para calderas de centrales eléctricas	Combinación de controles, eficacia, concentración final de mercurio en el efluente, etc.
<p><b>Controles de emisiones de centrales eléctricas de carbón</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) sistema de desulfuración de gases de combustión (DGC)</li> <li>b) sistema DGC con secado por atomización</li> <li>c) filtro de tejido ("filtro de manga") corriente abajo</li> <li>d) absorción de SO<sub>2</sub></li> <li>e) precipitador electrostático (PE) de gran eficiencia</li> <li>f) proceso DGC húmedo de cal/caliza-yeso con predepurador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) logra una reducción del 30-50%, un rendimiento potencialmente mucho mejor en calderas de carbón bituminoso.</li> <li>(b) logra una reducción de 35-85%, en la gama más alta si se suplementa con (c)</li> <li>(e)+(f) logra reducción de 77% (Países Bajos)</li> <li>(e)+(b) logra reducción de 75%, de la cual 50-70% debido a (e) (Bergstrom, 1983)</li> </ul>
<p><b>Tipos y características de calderas de centrales eléctricas de carbón</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) caldera con hogar de cenizas fusibles</li> <li>b) carga plena del quemador</li> <li>c) carga del quemador a 50%</li> <li>d) carga baja del quemador</li> <li>e) combustión de lecho fluidizado</li> <li>f) caldera de fondo seco alimentada con carbón pulverizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) produce emisiones de mercurio más grandes que las calderas alternativas;</li> <li>(b) produce emisiones de mercurio similares a (d);</li> <li>(c) produce la mitad de las emisiones de mercurio de (b) y (d);</li> <li>(e) produce emisiones de mercurio similares o menores que las calderas estándar;</li> <li>(f) las emisiones de mercurio dependen del tipo de carbón y las tecnologías de control utilizadas.</li> </ul>
<p><b>Calderas de centrales eléctricas de fuelóleo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Unidad tangencial</li> <li>b) Unidad horizontal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) y (b) producen emisiones de mercurio comparables</li> </ul>

Abreviaturas: PE – Precipitador electrostático

DGC – Desulfuración de gases de combustión

#### D. Control de emisiones de incineradores

661. Para gestionar los desechos, diversos países dependen en mayor o menor medida de la incineración controlada, que permite reducir su volumen y, en el mejor de los casos, aprovechar la energía que contienen. Debido a su bajo punto de ebullición, la mayor parte del mercurio que contienen los desechos se evapora durante la combustión y se emite directamente a la atmósfera, a menos que el gas de escape se controle debidamente. En la última década, se han mejorado los controles de emisiones de incineradores de desechos en muchos países, lo cual se refleja en la disminución de las emisiones de mercurio (AMAP, 2000). En unidades provistas de tecnologías de control, Pirrone *et al.* (2001) constataron que los controles de los gases de chimenea eliminan entre el 35 y el 85% del mercurio.

662. Según pruebas de cumplimiento realizadas recientemente en 115 de los 167 grandes incineradores de desechos municipales (IDM) de Estados Unidos, las eficiencias media y mediana de los controles de mercurio de esos incineradores eran de 91,5% y 94%, respectivamente. El cálculo de la eficiencia media de los controles en cada sitio se basó en el promedio de tres pruebas, que se determinó midiendo la concentración total de mercurio en el gas de combustión tanto antes como después del sistema de control de cada sitio (inyección de carbón activado pulverizado corriente arriba ya sea de un secador por atomización y cámara de filtros de tejido, o bien un secador por atomización y precipitador electrostático).

663. El mercurio eliminado de los gases de escape se retiene en los residuos de incineración y, en el caso de algunas tecnologías de filtrado, en los residuos sólidos del tratamiento de aguas residuales (procedentes del proceso de depuración). Esos residuos en general se envían a vertederos o, dependiendo de su contenido en materiales peligrosos y otras características, se usan para fines especiales de construcción (paneles murales, firme de carreteras o similar). En algunos casos, esos residuos sólidos se almacenan en depósitos especiales para desechos peligrosos, que se protegen además con una membrana u otro revestimiento que elimina o reduce las liberaciones producidas por evaporación y lixiviado (Pacyna y Pacyna, 2000).

664. La figura 8.5 muestra eficiencias típicas de los controles de un incinerador de desechos municipales; la tabla 8.7, una gama más amplia de medidas de control comunes. Obsérvese que la figura no refleja liberaciones adicionales procedentes de residuos y cenizas depositados.

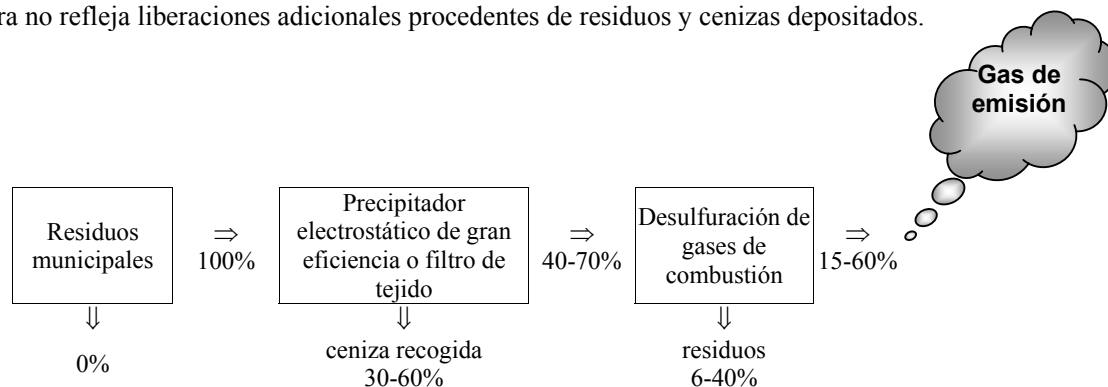


Figura 8.5 Reducción de emisiones de mercurio de incineradores de desechos – eficiencias típicas de las tecnologías más importantes (según Pirrone *et al.*, 2001)

Tabla 8.7 Eficiencia de tecnologías comunes de control de mercurio en incineradores (según Pirrone et al., 2001)

Fuentes de emisiones y tecnologías de control para incineradores	Combinación de controles, porcentaje de reducción de emisiones de mercurio, concentración final de mercurio en efluentes, etc.
<b>Incineradores de desechos municipales (IDM)</b> a) cámara de combustión de desechos no acondicionados, con pantalla de agua b) precipitador electrostático (PE) de gran eficiencia c) sistema DGC con secado por atomización d) filtros de tejido (“filtros de manga”) situados corriente abajo	(a) emite concentraciones superiores de mercurio y compuestos que otros tipos de IDM (b)+(c) logran una reducción del 75%, de la cual 50-70% gracias a (b) (Bergstrom, 1983) (c) logra una reducción típica de 35-85%, en la gama superior si se lo complementa con (d)
<b>Incineradores de lodos de depuración</b> a) cámaras de combustión de lecho fluidizado (LF) b) técnica de hogares múltiples (HM)	(a) emite a la atmósfera concentraciones de mercurio más bajas que otros incineradores, y (b) emite más mercurio que la mayoría

Abreviaturas: PE - Precipitadores electrostáticos LF - Lecho fluidizado  
 DGC - Desulfurización de gases de combustión HM - Hogares múltiples

Nota: Esta tabla no incluye la inyección de carbón activado como opción de control. Sin embargo, últimamente se han hecho avances en el uso de esta tecnología, que se mencionan en párrafos anteriores.

665. A efectos comparativos, la figura 8.6 muestra el comportamiento del mercurio en un incinerador japonés determinado (datos provistos por la República de Corea). Según las medidas obtenidas, el 98,2% del mercurio de los desechos llega a la instalación de tratamiento de gases de emisión y sólo 2% permanece en las escorias. Entonces, 14% del mercurio se elimina en el precipitador electrostático y permanece en la ceniza recogida, y el 91% que atraviesa el precipitador electrostático (77% del mercurio total) se elimina en la instalación de depuración de gases. Por último, 7% de la cantidad original de mercurio contenida en los desechos es emitida a la atmósfera.

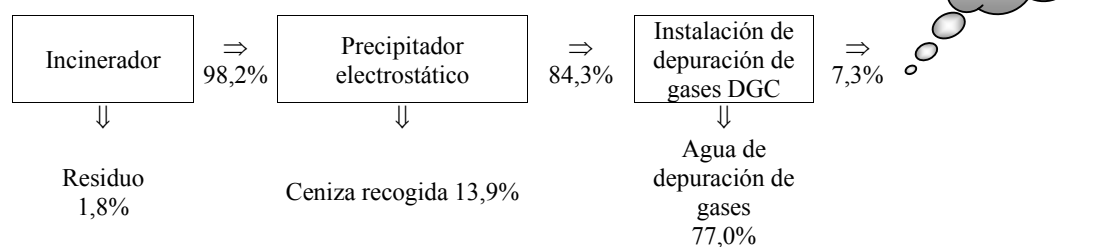


Figura 8.6 Comportamiento del mercurio en un incinerador japonés (Nakamura, 1994).

### 8.3.4 Eliminación del mercurio de gases de escape generados en instalaciones que no sean calderas de centrales eléctricas e incineradores

666. El procesado de materias primas secundarias, como hierro y acero, también puede ser una fuente importante de emisiones de mercurio y a menudo requiere tecnologías de control de emisiones. En este caso, el mercurio puede provenir tanto de impurezas naturales como de usos intencionales en productos/componentes (interruptores, activadores de bolsas de aire, etc.) que van a parar a depósitos de chatarra de hierro y acero.

667. Se han elaborado diversas técnicas para eliminar el mercurio de los gases de escape generados por industrias distintas de la producción de electricidad y calor, y durante la incineración de desechos, en particular industrias metalúrgicas. Por ejemplo, se ha estado utilizando un filtro de selenio en plantas tanto de acero como de metales no ferrosos. En esos procesos en seco, se ha logrado eliminar 90% del

mercurio, reduciendo su concentración a menos de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Asimismo, a menudo se usa un filtro de carbón que tiene una eficiencia de eliminación de mercurio similar a la lograda con el filtro de selenio (Pacyna y Pacyna, 2000).

668. El proceso de sulfuro de plomo es otra técnica en seco que se usa para eliminar mercurio de gases de chimenea generados en fundiciones de metales no ferrosos. Los gases que contienen mercurio volátil pasan a través de una torre llena de bolas recubiertas de sulfuro de plomo. Un estudio realizado en una fundición japonesa de Naoshima informa que la concentración de mercurio se redujo de los 1000–5000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  presentes en la alimentación de la torre de absorción a 10-50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la salida (Pacyna y Pacyna, 2000).

669. Los dos principales procesos en medio húmedo que se usan para eliminar mercurio de los gases de chimenea son el depurador de selenio y el llamado procedimiento de Odda con cloruro. El método del depurador es bastante similar a la técnica del filtro de selenio. Se puede lograr una reducción de mercurio de 90 a 95% (Pacyna y Pacyna, 2000).

670. En el método Odda de cloruro, los vapores de mercurio se oxidan para formar cloruro mercúrico, que precipita. Se recupera el mercurio y se regenera cloruro mercúrico. La concentración de mercurio de los gases tratados es de 50-100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Pacyna y Pacyna, 2000).

671. La eficacia de estas técnicas se resume en la tabla 8.8. En la tabla 8.9 se examinan otras tecnologías comunes.

Tabla 8.8 Eficiencia de técnicas de eliminación del mercurio de gases de chimenea (Pirrone et al., 2001)

Técnica de control	Eficiencia típica de eliminación de Hg	Contenido de Hg medido corriente abajo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Filtro de selenio	> 90%	< 10
Depurador de selenio	90-95%	200
Filtro de carbón	90-95%	10
Método Odda de cloruro	n.a.	50-100
Proceso de sulfuro de plomo	90-99%	10-50

### 8.3.5 Reducción de las liberaciones de mercurio provenientes de instalaciones de cloro-álcali

672. En las plantas de cloro-álcali de celdas de mercurio, este metal se utiliza como cátodo líquido en células electrolíticas. Para detalles específicos de este proceso, consúltese Lindley (1997), EIPPCB (2000) y diversas otras referencias. La mayor parte de las liberaciones de mercurio de este proceso se desprenden con el gas hidrógeno, el aire del sistema de ventilación de cajas de conexión y el aire de ventilación de la sala de celdas electrolíticas (US EPA, 1973).

673. Las liberaciones de mercurio de las operaciones de cloro-álcali se pueden eliminar completamente sólo si la planta se convierte a tecnologías que no utilicen mercurio, como el proceso de células de membrana. El hecho de que el método de células de membrana sea más eficaz en el uso de la energía (Fauh, 1991) es una de las varias consideraciones estratégicas y económicas que se deben tener en cuenta cuando una compañía decide desmantelar una instalación de cloro-álcali a base de mercurio y reemplazarla por tecnología de membrana.

Tabla 8.9 Eficiencia de las tecnologías de control del mercurio en otras industrias (basado en Pirrone et al., 2001)

Fuente de emisión y tecnologías de control	Combinación de controles, porcentaje de reducción de emisiones de mercurio, concentración final de mercurio en el efluente, etc.
<p><b>Industria del hierro y el acero</b></p> <p>a) Proceso de arco eléctrico (AE), utilizado normalmente para acero aleado especial y chatarra</p> <p>b) Proceso de oxígeno básico BOP</p> <p>c) Proceso de hogar abierto (HA)</p> <p>d) Filtro de selenio en medio seco</p> <p>e) Proceso de filtro de carbón</p> <p>f) Depurador de selenio en medio húmedo</p> <p>g) Proceso Odda de cloruro en medio húmedo</p>	<p>(a) emite 10 veces más elementos traza que (b) o (c);</p> <p>(d) logra reducir hasta un 90% de las emisiones de mercurio, para llegar a menos de 10 µg/m<sup>3</sup>;</p> <p>(e) logra reducir hasta un 90% de las emisiones de mercurio, para llegar a menos de 10 µg/m<sup>3</sup>;</p> <p>(f) logra reducir 90-95% de las emisiones de mercurio;</p> <p>(g) puede reducir las emisiones de mercurio a 50-100 µg/m<sup>3</sup>.</p>
<p><b>Procesos de fundición de metales no ferrosos</b></p> <p>a) Filtro de selenio en medio seco</p> <p>b) Proceso de filtro de carbón</p> <p>c) Proceso de sulfuro de plomo en medio seco</p> <p>d) Depurador de selenio en medio húmedo</p> <p>e) Proceso Odda de cloruro en medio húmedo</p>	<p>(a) logra reducir hasta un 90% de las emisiones de mercurio, para llegar a menos de 10 µg/m<sup>3</sup>;</p> <p>(b) logra reducir hasta un 90% las emisiones de mercurio, para llegar a menos de 10 µg/m<sup>3</sup>;</p> <p>(c) puede reducir las concentraciones de mercurio de 1000-5000 µg/m<sup>3</sup> antes de entrar a la torre de absorción a 10-50 µg/m<sup>3</sup> de las emisiones a la salida.</p>

674. Cuando un proceso de celda de mercurio se convierte al proceso de membrana, es posible que ciertas partes sigan siendo las mismas. Sin embargo, como el mercurio residual presente en la salmuera en concentraciones superiores a 10 partes por millón (ppm) puede afectar considerablemente el rendimiento de la membrana (O'Brien, 1983), al principio es necesario utilizar un sistema de eliminación del mercurio hasta que la salmuera se haya depurado lo suficiente (en general, uno o dos años). Los filtros utilizados para eliminar el mercurio se pueden usar más tarde en el tratamiento secundario de la salmuera (Horvath, 1986). La conversión del proceso de celda de mercurio al proceso de membrana obliga a hacer muchos otros cambios tecnológicos, cuyo costo y complejidad dependen de las circunstancias de cada planta. Un ejemplo típico es que el proceso de membrana requiere una salmuera de mucho mejor calidad. Para conseguirla, es necesario instalar una nueva planta de purificación de salmuera y quizá también cambiar la fuente de aprovisionamiento de materias primas.

675. Como se mencionó anteriormente, la conversión de la planta permite ahorrar electricidad y otros costos operativos, tales como costos de reciclado o eliminación de desechos de mercurio, aunque esos costos son inciertos (US EPA, 1997). Si bien las cifras concretas dependen mucho de la planta, el Consejo Mundial del Cloro opina que la mayoría de las estimaciones de los costos operativos totales oscilan entre US\$30 y \$50 por tonelada métrica de capacidad de cloro. Esas economías, acumuladas a lo largo de la vida útil de la planta, se pueden comparar con los costos de inversión iniciales de la conversión, que en general pueden ser del orden de \$500 por tonelada métrica de capacidad de cloro.

676. Aparte de la conversión completa a un proceso alternativo, las principales posibilidades de reducir las emisiones atmosféricas de mercurio del proceso de producción de cloro-álcali a base de celda de mercurio exige prestar particular atención al flujo de hidrógeno producido como subproducto, al aire de ventilación de las cajas de conexión y al aire de ventilación de la sala de celdas. Los dispositivos y técnicas que se suelen utilizar para eliminar el mercurio de las emisiones de chimenea son: 1) enfriamiento de la corriente gaseosa para eliminar el mercurio del flujo de hidrógeno, 2) separador de gotículas, 3) depuradores, y 4) adsorción en carbón activado y tamices moleculares. Usados en forma adecuada, esos dispositivos pueden eliminar más del 90% del mercurio de las corrientes gaseosas (Pacyna y Pacyna, 2000).

677. Sin embargo, la mayor parte de las pérdidas de mercurio de las instalaciones de cloro-álcali son fugitivas. Entre las medidas preventivas aplicables, cabe señalar:

- Dejar enfriar el equipo antes de abrirlo para efectuar tareas de mantenimiento invasivas;
- Reunir las intervenciones de mantenimiento invasivas para minimizar su número;
- Evacuar el mercurio de un componente antes de abrirlo, mantener el mercurio de su interior cubierto con agua de refrigeración o instalar una campana de aspiración para capturar los vapores de mercurio;
- Invertir capital en descomponedores de mayor capacidad que exijan un menor mantenimiento invasivo;
- Aumentar la pureza de la salmuera para impedir la acumulación de residuos de mercurio que exijan mantenimiento invasivo;
- Utilizar ánodos metálicos de mayor duración que requieran menos mantenimiento invasivo;
- Invertir capital en nuevas células alargadas provistas de dispositivos para evitar la contaminación del aire, como brazos mecánicos internos que puedan realizar algunas intervenciones de mantenimiento que antes eran invasivas.

678. Para información completa sobre opciones de reducción pertinentes, consúltese EIPPCB (2000) en *Guidelines for Mercury Cell Chlor-alkali Plants Emission Control: Practices and Techniques*, en <http://www.cl2.com/AM2001/index.html>, y una serie similar de directrices y documentos disponibles en el sitio de Euro Chlor en <http://www.eurochlor.org/>.

679. Como ejemplo de los progresos realizados últimamente en ese campo, las compañías de cloro-álcali con celdas de mercurio de Estados Unidos han reducido voluntariamente el consumo de mercurio en un 81% desde 1995 hasta llegar a unas 28 toneladas métricas en 2001. Ajustada para tener en cuenta la disminución en la capacidad de producción durante ese período, la disminución “real” fue de un 75%. Según informes de la industria, las reducciones se hicieron modernizando una variedad de equipos y mejorando prácticas de gestión interna que limitan la vaporización del mercurio procedente de la sala de celdas. Asimismo, introduciendo mejoras y cambios similares en las prácticas de gestión, la industria de Europa occidental ha reducido voluntariamente las emisiones de mercurio a la atmósfera<sup>24</sup> un 96% desde 1977.

### 8.3.6 Reducción de las liberaciones de mercurio de explotaciones auríferas artesanales

680. Según CETEM/IMAAC/CYTED (2001), las actividades de la pequeña minería de oro han aumentado constantemente desde 1980. Los autores de este informe también estiman que la minería de pequeña escala posiblemente represente hasta un cuarto de la producción mundial de oro. A pesar de los bajos precios actuales del oro, la corrida en el sector artesanal continúa. En el capítulo 7 se documenta la importancia de las liberaciones de mercurio procedentes de esas actividades. La participación y el objetivo de la ONUDI al abordar este problema es reemplazar los procesos que consumen y descargan mucho mercurio por métodos sustitutivos de extracción de oro, inocuos para el medio ambiente y de gran rendimiento, que reduzcan drásticamente o eliminen el uso y vertido de este metal.

#### A. Diversas medidas para reducir las liberaciones y exposiciones

681. Según CETEM/IMAAC/CYTED (2001), como la capacitación y la concienciación son medios importantes para conseguir resultados en el sector de la pequeña minería, la ONUDI se concentra en:

- La capacitación en el lugar de trabajo sobre tecnologías menos contaminantes;
- La capacitación de mujeres, incluyendo empresarias, que tienen una gran participación en el sector;

---

<sup>24</sup> Si bien las emisiones atmosféricas de mercurio (datos de la industria europea) no se pueden comparar directamente con el consumo de mercurio (datos de la industria de Estados Unidos), el meollo de este párrafo es que una gran parte de la industria ha hecho un esfuerzo importante para mejorar su desempeño ambiental.



- El fomento de la concienciación mediante la realización de talleres locales, regionales e internacionales;
  - La promoción del interés de los medios de difusión. Entre otros, la BBC y CNN ya han informado sobre las actividades de la ONUDI relacionadas con el mercurio.
682. Para presentar con éxito sustitutos para las prácticas contaminantes, es necesario:
- Familiarizar a los fabricantes locales con el diseño de equipos de recuperación de oro de baja tecnología pero eficientes;
  - Demostrar sustitutos de la amalgamación;
  - Probar la rentabilidad de las nuevas técnicas;
  - Elaborar programas de microfinanciación en cooperación con el sector privado.
683. La participación y compromiso de la comunidad local son fundamentales y comprenden los siguientes elementos:
- Una visión clara del problema;
  - Asignación de recursos de la comunidad para abordarlo;
  - Reuniones de todos los interesados que participan en las discusiones para llegar a un consenso;
  - Una vez logrado el consenso, un programa de acción que comprenda: a) la utilización del mercurio en circuito cerrado en las etapas de concentración/amalgamación; b) la quema de la amalgama en retortas sobre el terreno y uso de campanas de gases en las tiendas de comerciantes de oro, y c) el confinamiento del material procesado en estanques de sedimentación construidos especialmente;
  - Acuerdo de adoptar estas medidas tanto para las operaciones actuales como para evitar problemas futuros;
  - Con respecto a las operaciones actuales, muestreo de los niveles de contaminación con mercurio, evaluación de las zonas de riesgo y aplicación de medidas de aislamiento y restauración a fin de asegurar la fijación y/o recuperación del mercurio.
684. Se deberían aplicar también otras medidas, más obvias, como las siguientes:
- No derramar mercurio durante la fase de amalgamación, como parte de la gestión del mercurio a lo largo del proceso;
  - Usar recipientes de amalgamación;
  - Procesar el mineral en circuito cerrado;
  - Usar retortas para recoger los vapores de mercurio;
  - Usar campanas para gases (preferiblemente filtros de carbón) en las tiendas de orfebrería.
685. En CETEM (1994) se encontrará un manual de campo sobre el procesado de mineral aluvial de oro y la manipulación de mercurio en condiciones de seguridad.

## **B. Centros de amalgamación**

686. La ONUDI destaca una solución muy creativa que se ha estado aplicando en Venezuela, los centros de amalgamación, que se pueden copiar con facilidad en otros países (UNIDO, 1997). Los mineros llevan sus concentrados gravimétricos a esos centros para que los operadores técnicos los amalgamen en condiciones de seguridad. En los centros de amalgamación operados por el gobierno, el servicio es gratuito. En los centros privados, los mineros pagan US\$ 0,7 por kilo de concentrado para amalgamar.
687. Basándose en el Centro Carhuachi, un centro destacado de amalgamación situado en el río Caroni, la ONUDI y una organización no gubernamental de Venezuela llamada PARECA designaron el centro UNECA (*Unit for Gold Extraction and Controlled Amalgamation* - Unidad para la extracción de oro y amalgamación controlada). Operadores capacitados procesan el oro por medio de placas especiales de amalgamación o por lixiviación empleando el procedimiento electrolítico con NaCl. Ambos métodos reducen el uso de mercurio. El proceso electrolítico de hecho elimina la

amalgamación. Se usan retortas especiales y cámaras de combustión que funcionan bajo campanas de aspiración de gases provistas de filtros de carbón impregnado de yodo.

688. El centro de amalgamación de tipo UNECA es adecuado para instalar en pueblos mineros o cualquier otra zona central a fin de facilitar la tarea de los mineros que llevan los concentrados gravimétricos. De hecho, la recuperación del oro es mejor y la exposición de los operadores al mercurio es insignificante. El minero que lleva su concentrado al centro de amalgamación obtiene la ventaja suplementaria de reducir costos en su propia planta de procesamiento. Esos centros desempeñan una función importante en la difusión de información sobre el mercurialismo causado por los vapores de mercurio y la ingestión de pescado contaminado. Pueden dar información a los mineros mientras éstos esperan el procesamiento de sus concentrados y asesorarlos sobre cómo mejorar su producción. Los centros también pueden servir de lugar de reunión para otros fines de educación y organización.

### C. Medidas individuales

689. Hay medidas que se pueden dirigir directamente al minero artesanal a nivel individual para que reduzca sus liberaciones de mercurio. Se pueden usar retortas para capturar el mercurio volatilizado y condensarlo, lo cual permite reducir considerablemente las emisiones atmosféricas y las exposiciones ocupacionales, y reciclar el mercurio un par de veces antes de que su capacidad para recuperar oro haya disminuido demasiado. Algunas retortas están hechas de acero inoxidable, mientras que otras son de confección casera y tienen tubos y conexiones de hierro. Las pérdidas de mercurio en la retorta dependen del tipo de conexiones o abrazaderas utilizadas, y la recuperación de este metal suele ser de 51-99% (Farid *et al.*, 1991). En los yacimientos auríferos, las retortas no se usan mucho porque los mineros no saben qué puede pasarle al oro si no miran continuamente la amalgama durante el proceso. También tienen cierto temor de que el oro también se evapore si la temperatura es muy alta o que, de algún modo, alguien se lo robe. Además, tras tantas horas de intenso trabajo, es emocionante observar cada etapa de la transformación de la amalgama en oro. Por otra parte, se dice que los que lucran con la venta de mercurio procuran activamente impedir cualquier innovación que reduzca su mercado.

690. Existen otros métodos de fácil aplicación para reducir las emisiones de mercurio que se desprenden cuando se calienta una amalgama. Según la ONUDI, ya en 1989 una empresa brasileña había desarrollado una campana para condensar vapores de mercurio (UNIDO, 1997). El prototipo tenía una serie de placas de condensación acopladas a filtros de carbón activado impregnado con una solución de yodo. Según el informe, más de 99,9% del mercurio de los vapores quedaba retenido en esa campana especial. En el interior del taller se detectó una concentración de mercurio de menos de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante una operación de fundición de oro, en comparación con concentraciones de hasta 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  medidas en talleres no protegidos<sup>25</sup>. El Centro de Amalgamación de Carhuachi de Venezuela utilizaba una técnica similar. Esta simple solución, que se debería aplicar a todos los comerciantes de oro de América Latina, permitiría reducir considerablemente las emisiones de mercurio en zonas urbanas.

## 8.4 Prácticas de gestión de desechos

### 8.4.1 Inventarios y desechos de mercurio

691. Como se explicó en el capítulo 6, los desechos pueden ser una fuente importante de liberaciones de mercurio, especialmente teniendo en cuenta que las prácticas de manejo de desechos varían considerablemente en todo el mundo. Recordando lo dicho en ese capítulo, la tabla 8.10 presenta una síntesis de la diversidad de flujos de desechos que deben vigilarse cuidadosamente. Además, hay algunos stocks muy grandes de mercurio que podrían dar lugar a liberaciones considerables si no se administraran de manera responsable (véase la tabla 8.11).

---

<sup>25</sup> A efectos comparativos, el mercurio atmosférico de fondo en las ciudades es de aproximadamente 0,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; el límite de exposición del público es 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el límite de exposición industrial es 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (UNIDO, 1997).

692. He aquí un ejemplo. A principios de la década de 1990 se decidió vender la reserva “estratégica” de mercurio virgen acumulada por el Departamento de Defensa de Estados Unidos. La *US EPA* convenció posteriormente al Departamento de Defensa que pospusiera otras ventas hasta que se pusiera en marcha algún tipo de sistema de control para impedir posibles usos que no se podían controlar adecuadamente. La demora continúa, pero aún no se ha encontrado una solución a largo plazo.

693. Otro ejemplo. El mercurio de la industria de cloro-álcali plantea un desafío especial (véase asimismo la sección 7.4). En Europa occidental, a medida que las plantas se van retirando de servicio, aumenta cada vez más la disponibilidad de grandes cantidades de mercurio “usado” – alrededor de 500 toneladas métricas por año en 2000 y 2001, según Euro Chlor. Este mercurio es prácticamente “puro” y, por lo tanto, reutilizable (en la mayoría de las aplicaciones) sin necesidad de reprocesarlo. El Consejo del Medio Ambiente preguntó a la Comisión Europea (reunión del 7 de junio de 2001) si era necesario emprender algún tipo de acción coordinada de los Estados miembros a fin de controlar el destino final de ese mercurio. La industria ha aceptado ponerlo por ahora bajo el control de la empresa minera española Minas de Almadén a condición de que ésta reemplace, tonelada por tonelada, el mercurio que de otro modo habría que extraer de los yacimientos y fundir para satisfacer la demanda normal del mercado.

Tabla 8.10 *Flujos de desechos que producen liberaciones de mercurio*

<b>Emisiones de mercurio en el aire</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lodos de depuración de aguas residuales de incineradores</li> <li>▪ Liberaciones difusas de productos de desecho no recolectados (lámparas fluorescentes, pilas, termómetros, interruptores, componentes electrónicos y eléctricos, dientes extraídos que tienen empastes de amalgama, etc.)</li> <li>▪ Evaporación de mercurio eliminado en vertederos</li> <li>▪ Desechos de mercurio enviados a incineradores de desechos médicos, municipales o peligrosos</li> <li>▪ Mercurio contenido en chatarra utilizada en la producción secundaria de metal</li> <li>▪ Emisiones de mercurio procedentes de otros procesos, entre ellos instalaciones de retortas y estabilización</li> </ul>
<b>Descargas de mercurio en el agua – medio acuático</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Descargas de industrias y residencias directamente al alcantarillado</li> <li>▪ Descargas indirectas a través de los sistemas de depuración de aguas residuales</li> <li>▪ Vertido informal en el agua y esorrentía procedente de vertederos informales en tierra</li> <li>▪ Lixiviado de vertederos sin membranas colectoras de lixiviados ni sistemas de depuración de efluentes lixiviados.</li> </ul>
<b>Liberaciones de mercurio en el suelo – medio terrestre</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eliminación informal en tierra o en vertederos – con o sin protección de las aguas subterráneas y suelos circundantes (membranas y sistemas de depuración de aguas de lixiviación)</li> <li>▪ Liberaciones difusas de productos de desecho no recolectados (pilas, termómetros, interruptores, componentes electrónicos y eléctricos, dientes extraídos que tienen empastes de amalgama, etc.)</li> <li>▪ Liberaciones locales de la industria: materiales <i>in-situ</i> y almacenamiento de desechos, tubos rotos o sin usar, equipos y materiales de construcción</li> <li>▪ Lodos de depuración con contaminantes en estado de trazas, esparcidos en tierras de cultivo (como fertilizante)</li> <li>▪ Residuos sólidos de la incineración de desechos y la combustión de carbón para fines de construcción (escorias/cenizas residuales y cenizas volantes)</li> </ul>

Tabla 8.11 Stocks de mercurio que se deben administrar en forma responsable

<b>Cantidades o stocks de mercurio que se deben administrar</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las reservas de mercurio comúnmente llamadas “estratégicas”, mantenidas por un número de gobiernos</li> <li>▪ Grandes cantidades de mercurio recuperadas de plantas de cloro-álcali con celdas de mercurio, cuando cerraron o adoptaron un proceso sin mercurio</li> </ul>

## 8.4.2 Medidas de prevención y control

694. Como todas esas fuentes de posibles liberaciones de mercurio ya se han descrito, esta sección se centrará sobre todo en los tipos de medidas que se pueden aplicar para prevenir (soluciones de largo plazo) y controlar (generalmente soluciones de corto y mediano plazo) esas liberaciones. Muchos problemas se podrían simplificar, por supuesto, si se utilizaran más sustitutos de mercurio y se redujera considerablemente el mercurio contenido en diversos flujos de desechos. Sin embargo, los autores parten de la base de que el mercurio ya está en los desechos y luego sugieren los mejores modos de tratarlo. Como en el caso de las liberaciones industriales, conviene considerar una serie de medidas técnicas y no técnicas que se pueden aplicar.

### A. Medidas no técnicas

695. Las medidas no técnicas para prevenir y controlar liberaciones de flujos de desechos pueden ser normativas/prescriptivas, económicas y educativas/informativas. He aquí algunos ejemplos.

#### (1) Medidas normativas/prescriptivas

- Prohibir que el mercurio de los desechos de productos y procesos se libere directamente en el medio ambiente, asegurando que se utilice un servicio eficaz de recolección de desechos;
- Prohibir que el mercurio de los desechos de productos y procesos se mezcle con desechos menos peligrosos en el flujo general de desechos, asegurando que se recojan y traten por separado;
- Establecer valores límite del contenido permisible de mercurio en los lodos de depuración que se esparzan en tierras agrícolas;
- Restringir el uso de residuos sólidos de incineración en la construcción de carreteras y otras aplicaciones cuando no se puede asegurar su control a largo plazo;
- Prohibir la recomercialización de mercurio usado y reciclado;
- Prohibir el vertido ilegal de desechos;
- Prohibir las descargas directas e indirectas de mercurio en las alcantarillas comunes o el sistema de tratamiento de aguas, o cualquier modo de eliminación de mercurio en el agua;
- Prohibir o restringir el transporte transfronterizo de desechos de mercurio y cualquier otro tipo de desechos peligrosos;
- Exigir que todos los materiales o desechos que contengan mercurio y estén almacenados *in-situ* en una empresa industrial o comercial se mantengan en recipientes herméticos e impermeables, y que la organización tenga un plan y un calendario escritos para eliminar esos materiales en forma adecuada;
- Prohibir la eliminación en tierra de lodos de depuración, fertilizantes u otros materiales que excedan las normas internacionales fiables sobre contenidos de mercurio;
- Poner en práctica una estrategia de gestión ambiental que comprenda la aplicación de reglamentos sobre el mercurio y una vigilancia responsable, el rastreo de todos los movimientos de mercurio (materia prima, procesos, productos y desechos) y un control periódico independiente.

**(2) Medidas económicas**

- Establecer impuestos y tarifas sobre la eliminación de desechos peligrosos (incineración especial, vertederos dedicados, etc.) que reflejen cabalmente los costos reales para la sociedad y el medio ambiente que representa a largo plazo la gestión responsable de esas sustancias peligrosas.

**(3) Medidas informativas y educativas**

- Educar al público acerca de la eliminación apropiada de productos con contenido de mercurio;
- Instalar puestos de recolección a donde el público pueda llevar fácilmente esos productos separados;
- Crear varios indicadores clave y dar a conocer el progreso que se realiza en la gestión responsable del mercurio.

**B. Medidas técnicas**

696. Las medidas técnicas de gestión de desechos mercuriales se pueden dividir en medidas de pretratamiento y medidas de control de emisiones.

**(1) Medidas de pretratamiento**

- Prohibir o limitar las liberaciones de mercurio al medio ambiente tratando los desechos domésticos, desechos peligrosos y desechos médicos mediante tecnologías de control de emisiones.

**(2) Medidas de control de emisiones**

- Exigir a los vertederos que tengan los debidos permisos y dispongan de equipos adecuados para el tipo de desechos peligrosos que acepten, incluyendo membranas para prevenir la evaporación y lixiviación de mercurio, recogida y tratamiento de efluentes de vertederos, análisis periódicos y a largo plazo de las aguas subterráneas, emisiones atmosféricas, etc.;
- Asegurar que los desechos mercuriales se incineren exclusivamente en instalaciones equipadas para desechos peligrosos, con colectores de polvo y controles de gases de chimenea de las mejores tecnologías disponibles, etc.;
- Establecer una instalación (quizá conjuntamente con un país adyacente) para la eliminación definitiva del mercurio y otros desechos tratados, que estén tan concentrados o sean tan peligrosos a largo plazo que no se puedan eliminar responsablemente de otra manera.

**C. Soluciones limitadas para aplicar a largo plazo**

697. Como se explicó en el capítulo 6, la mayor parte de las opciones mencionadas son medidas a corto a mediano plazo. Una de las pocas medidas reales a largo plazo es la prevención (mantener el mercurio fuera del flujo de desechos). Una vez presente en el flujo de desechos (y si el control de la contaminación se considera prioritario), el mercurio contribuye a la necesidad de aplicar controles de emisiones en los incineradores, un método especial para eliminar los residuos de los incineradores, un tratamiento de los lixiviados de los vertederos, etc., todo lo cual significa un costo suplementario. Incluso los países que se esfuerzan por separar los productos que contienen mercurio del flujo general de desechos tienen dificultad para alcanzar índices de recolección satisfactorios y han descubierto que la recolección y tratamiento separados implican costos adicionales para la sociedad. Por lo tanto, reducir al mínimo el uso de mercurio en productos puede ser un objetivo muy buscado; de hecho, es lo que fundamenta la política de sustitución del mercurio que sustentan muchos países.

698. Otra medida a largo plazo de la gestión de desechos de mercurio es el almacenamiento provisional/definitivo en instalaciones especiales, como se describe a continuación.

### 8.4.3 Gestión responsable de las existencias de mercurio

#### A. Entrega a Almadén

699. Como se explica en el capítulo 7, una de las soluciones que han sido propuestas para el mercurio de las plantas cloroalcalinas que cierran es enviarlo a la mina de Almadén, en España, que ha aceptado disminuir su producción minera y comercializar en cambio el mercurio recibido. Hay quienes opinan que todavía no existen los medios adecuados para controlar dónde vendería Almadén ese mercurio ni de qué modo se usaría.

#### B. Almacenamiento provisional

700. Otra propuesta es almacenar el mercurio de manera segura durante un período indeterminado hasta que se elabore una estrategia en circuito cerrado para su reutilización o eliminación en condiciones de seguridad. Esta opción tiene la ventaja de que el mercurio se podría utilizar si surgiera una necesidad importante. Por otra parte, podrían ocurrir liberaciones, habría costos continuos y no es una solución definitiva. Sin embargo, los costos de gestión permanentes y el riesgo de liberaciones importantes fuera de las instalaciones de almacenamiento provisional serían pequeños si se aplicaran prácticas de gestión óptimas.

#### C. Almacenamiento definitivo/permanente

701. Se ha argumentado que, desde el punto de vista ambiental, sería preferible eliminar el mercurio de manera definitiva/permanente. Sin embargo, esa medida fomentaría la continuación de la extracción y fundición de mercurio virgen para satisfacer la demanda que seguirá existiendo. Se ha alegado asimismo que el mercurio almacenado de ese modo sería difícil o imposible de recuperar si en el futuro surgieran usos importantes (en “circuito cerrado”).

702. Suecia ha elaborado una estrategia para almacenar definitivamente el mercurio excedentario y los desechos con contenido de mercurio, en respuesta a preocupaciones acerca del destino para dar al mercurio recogido de productos de consumo, la industria y residuos con alta concentración de ese metal, que actualmente esté almacenado en forma provisional. Si bien falta elaborar el marco jurídico y quedan por resolver algunos problemas técnicos del tratamiento de los residuos, así como decidir la ubicación y diseño de las instalaciones de almacenamiento definitivo, se ha elaborado y propuesto un concepto viable. En él se sugiere que los propietarios de desechos se responsabilicen plenamente de la construcción, gestión y operación de la instalación. Excluyendo el pretratamiento, las estimaciones del posible costo de esta opción son del orden de US\$14-20 por kg de mercurio. Para hacerse una idea, ese costo añadiría un 6 a 10% al costo estimativo de reconvertir una planta de cloro-álcali de célula de mercurio al procedimiento de membrana.

703. El concepto de almacenamiento definitivo se basa en la transformación del mercurio actualmente almacenado en la forma elemental o contenido en desechos a altas concentraciones, en una forma químicamente estable (por ejemplo, sulfuro de mercurio, HgS) y la eliminación subsiguiente de la forma estabilizada en un almacenamiento a gran profundidad en el lecho rocoso. Se han hecho varios estudios de investigación sobre tecnologías del tratamiento de desechos, estabilización química, geoquímica, geohidrología y economía, cuyos resultados indican que el concepto es técnica y económicamente factible<sup>26</sup>. Aunque todavía queda por resolver una serie de cuestiones, Suecia tiene en proyecto poner en práctica la estrategia del almacenamiento definitivo en un futuro cercano.

---

<sup>26</sup> A principios de 2002, la *US EPA* terminó su propio estudio de investigación sobre el tratamiento de mercurio por estabilización y amalgamación. Se usaron dos muestras – mercurio elemental y un desecho que contenía 5.000 ppm de una variedad de especies de mercurio. Según los resultados de ese estudio, la *US EPA* no cree que el tratamiento por sí solo sea suficiente para la gestión a largo plazo de desechos que contengan altos niveles de mercurio ni para stocks de mercurio excedentario. La *US EPA* no está convencida de que los desechos permanezcan estables si se los expone a toda la gama de condiciones que imperan en los vertederos existentes en Estados Unidos.

704. Si bien se considerarán otras opciones para el tratamiento de desechos y diseño de instalaciones, en este momento los principales elementos del concepto de almacenamiento definitivo propuesto son los siguientes:

- Transformación del mercurio procedente de desechos con alto contenido de Hg, pilas, dispositivos eléctricos, etc. en la forma elemental líquida por tratamiento térmico y condensación;
- Transformación de mercurio elemental en la forma sulfuro por tratamiento térmico con, por ejemplo, sulfuro de sodio u otros reactivos adecuados;
- Almacenamiento del sulfuro de mercurio en una instalación a gran profundidad en lecho rocoso equipada con dispositivos de vigilancia apropiados.

705. Los requisitos físicos de la instalación de almacenamiento definitivo son, entre otros, estabilidad geológica, poca permeabilidad al agua y ausencia de recursos minerales cuya extracción sea o pueda ser económicamente factible. El almacenamiento definitivo puede ubicarse en una mina abandonada, cuyas características geológicas y geohidrológicas se conozcan bien.

706. Es importante señalar que el concepto de almacenamiento definitivo a gran profundidad en lecho rocoso no se concibió como método para reducir las actuales liberaciones de mercurio al medio ambiente o las actuales exposiciones. Más bien, se diseñó como solución a largo plazo para el problema del almacenamiento de los desechos de mercurio, teniendo en cuenta la perdurabilidad de este metal y la necesidad de aplicar estrategias a largo plazo para reducir la contaminación que produce.

## 8.5 Costos y efectividad del control del mercurio

707. Si bien los costos de las tecnologías de control son muy variables, dependiendo del país y el lugar, las circunstancias locales, disponibilidad de equipos y técnicos, características de la materia prima que entra en combustión o el desecho que se incinera, etc., la presente sección se basa en varias fuentes importantes para ofrecer algunas estimaciones comparativas de esos costos.

### 8.5.1 Costos de reducir las emisiones de mercurio de calderas e incineradores

#### A. Costos del control de mercurio de calderas de centrales eléctricas

708. Como se menciona en la página 14 de NEG/ECP (2000), las “estimaciones [de la *US EPA*] de la rentabilidad de los diversos métodos de reducción de emisiones de mercurio varían ampliamente”, de US\$11-66 por gramo de mercurio eliminado mediante inyección de carbón<sup>27</sup>, a US\$143-933 por gramo de mercurio eliminado al cambiar de combustible. Esas cifras pueden parecer altas en comparación con los costos generales de reducir contaminantes comunes, como óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) y materia particulada (MP). Si bien tales comparaciones se deben interpretar con cautela teniendo en cuenta la naturaleza totalmente diferente de las emisiones, cantidades, efectos, etc., la *US EPA* presentó una comparación que se sintetiza en el recuadro siguiente.

---

<sup>27</sup> La *US EPA* estimó esta gama de costos para un sistema de inyección de carbón utilizado en una caldera de 975 MW alimentada con carbón, con un índice de eliminación del mercurio de 90%. Obsérvese que, mientras los costos de control de los NO<sub>x</sub> corresponden a aplicaciones de escala real, los costos del control del mercurio se basan en datos de escala piloto y, por lo tanto, son provisionales. Se espera que los datos de las demostraciones a escala real que se están realizando permitan refinar las estimaciones de los costos del control del mercurio.

### Comparación de los costos de control del mercurio y los NO<sub>x</sub> (US EPA, 2002)

Los costos del control del mercurio se pueden comprender mejor si se los compara con los costos de los controles que se emplean actualmente para los NO<sub>x</sub>. En Estados Unidos, se están usando tecnologías comerciales de control de NO<sub>x</sub> para cumplir con los requisitos de control de emisiones. Por lo tanto, los costos asociados con esos controles de NO<sub>x</sub> se refieren a aplicaciones a escala real. Si se comparan los costos del control del mercurio con los costos de los controles que se usan actualmente para los NO<sub>x</sub>, se comprenderá en qué medida se asemejan a los costos del control de otro contaminante en aplicaciones a escala real.

La tabla 8-10 presenta las gamas de costos anuales totales en dólares constantes de 2000 de los controles de mercurio que se examinan en este trabajo y de dos tecnologías de control de NO<sub>x</sub> que se usan comúnmente, a saber: un quemador de baja emisión de NO<sub>x</sub> (QBN) y la reducción catalítica selectiva (RCS). Los costos de control de NO<sub>x</sub> que se presentan aquí se refieren a aplicaciones en calderas de fondo seco, eje vertical y alimentadas con carbón pulverizado, de una capacidad de 100 a 1000 MW, que funcionan con un factor de capacidad de 0,65. En general, se supone que los costos asociados con el QBN y la RCS abarcan los costos de los controles que se usan actualmente para los NO<sub>x</sub>; por esa razón, esos costos se eligieron para compararlos con los del mercurio.

Como se vé en la tabla 8-10, los costos totales anuales de los controles de mercurio se encuentran en su mayor parte dentro de la gama de costos de QBN y RCS. Sin embargo, la tabla 8-9 (*que no figura aquí*) muestra que esos costos del mercurio son más altos en la minoría de plantas que utiliza precipitadores electrostático del lado caliente. Salvo en ese caso, los costos, tanto estimados como proyectados, de los controles de mercurio actuales se encuentran dentro del espectro de costos de QBN y RCS.

**Tabla 8-10**

Contaminante	Tecnología de control	Gama de costos de control totales anuales (US\$/MWh generado)
Hg	Inyección de carbón activado en polvo	0,305 a 3,783 (a)
		0,183 a 2,270 (b)
NO <sub>x</sub>	Quemadores de baja emisión de NO <sub>x</sub>	0,210 a 0,827 (c)
	Reducción catalítica selectiva	1,846 a 3,619 (c)
(a) Estimación actual de costos		(b) costos proyectados
		(c) costos reales

709. Es importante tener en cuenta que el costo definitivo del control del mercurio procedente de calderas de centrales eléctricas dependerá del impacto que éste pueda tener en la venta y/o eliminación de los subproductos de la combustión. Por ejemplo, en el caso de las plantas que venden sus cenizas volantes para la fabricación de cemento, el uso de la inyección de carbón activado podría reducir drásticamente su capacidad para vender este material debido al aumento de las concentraciones de carbono. En las plantas que deciden utilizar un depurador húmedo para capturar el mercurio, su capacidad para vender yeso destinado a la fabricación de paneles murales podría verse comprometida debido al aumento de las concentraciones de mercurio. Aún no se han determinado las posibles consecuencias del control adicional del mercurio en el uso de los subproductos o la eliminación de desechos. Tales consideraciones podrían afectar considerablemente los costos operativos de controlar las emisiones de mercurio procedentes de calderas de carbón.

710. Asimismo, cabe mencionar que, para un peso equivalente, el mercurio representa un riesgo mucho mayor para la salud y el medio ambiente que el SO<sub>2</sub>, los NO<sub>x</sub>, y las MP. Los costos se asemejan más a los asociados con el control de dioxinas y furanos, que se producen en gases de chimenea en cantidades sumamente pequeñas, y cuya más mínima emisión es motivo de preocupación. Como ocurre con los controles eficaces de esos compuestos (y los depuradores y filtros de manga son muy eficaces para capturarlos), muchas estrategias de control del mercurio también reducen otras emisiones de



contaminantes, y viceversa. El cambio de combustible, por ejemplo, puede reducir drásticamente las emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y partículas, mientras que los depuradores eliminan muchos otros tóxicos además del mercurio. Cuando los costos de estas estrategias se distribuyen entre todos los contaminantes que pueden reducir, su rentabilidad aumenta mucho.

711. La tabla 8.12 presenta un resumen de los costos relativos de las tecnologías de control. Muestra una aparente ventaja de la inyección de carbón activado en cuanto a rentabilidad, pero con la salvedad de que se necesita equipo adicional para eliminar otros contaminantes. Sin embargo, demuestra también la popularidad de la combinación del precipitador electrostático o el filtro de tejido (FT) y la desulfuración de gases de combustión (DGC), para los cuales la inversión inicial (para una planta próxima a los 1000 MW de capacidad) es unos US\$25 millones mayor, pero cuyos costos de operación y mantenimiento son casi US\$6 millones/año menores que los de la inyección de carbón activado.

Tabla 8.12 Rentabilidad aproximada de las medidas de control del mercurio para calderas de centrales eléctricas (según Pirrone et al., 2001). Para más detalles, consúltese la fuente.

Medidas de control para calderas de centrales eléctricas	Eficiencia de eliminación del mercurio (porcentaje)	Costs	
		Inversión (US\$ 1000/MW)	Operación y mantenimiento (US\$ 1000/MW/año)
PE solamente	10**	1,6	0,2
FT solamente	29**	28,9	5,8
PE o FT + DGC húmeda	85	59,0	2,5
ASA + PE	67	143,0	5,0
PE + lecho de filtro de carbón * [A juzgar por los costos señalados, no es una opción práctica]	90-95	264,0	62,0
Inyección de carbón activado + FT *	50-90+	34,6	8,1

\* Tecnologías de control del mercurio

\*\* Según discutido anteriormente, esta cifra parece baja.

Abreviaturas: PE - Precipitador electrostático      ASA - Absorbador de secador por atomización  
 FT - Filtro de tejido      MW - Megavatios  
 DGC - Desulfuración de gases de chimenea      MWh - Megavatios-hora

## B. Costos del control del mercurio en incineradores

712. En los incineradores se utilizan muchas de las mismas tecnologías de control de mercurio que se emplean en las calderas de centrales eléctricas. Sin embargo, como la estructura de los costos es muy diferente, conviene presentarlos en una tabla separada y comparar entre sí los costos de las distintas medidas de control que tienen los incineradores en vez de compararlos con los costos de control de las calderas de centrales eléctricas. Aquí también se debe tener presente que, para calcular la tabla 8.13, se supuso que el costo de las medidas de control se refería exclusivamente al mercurio, lo cual evidentemente no es lo que ocurre en el mundo real. Cada una de las medidas de control analizadas en la tabla tiene alguna consecuencia para los gases de efecto invernadero y otras emisiones, y esas consecuencias se deben tomar en consideración antes de adoptar decisiones definitivas sobre tecnologías de control de múltiples contaminantes.

713. En conclusión, la tabla 8.14 presenta los costos relativos y la eficacia en la eliminación de mercurio de las tecnologías de control más comunes que se aplican a los incineradores. En este caso, la inyección de carbón activado parece llevar claramente la delantera en cuanto a rentabilidad, aunque su capacidad para eliminar otros contaminantes de los gases de chimenea es muy limitada. Por lo tanto, se la combina con un precipitador electrostático o un filtro de tejido.

Tabla 8.13 Tecnologías de control y su rentabilidad en incineradores (US EPA, 1997)

Fuente	Técnica de control del mercurio	Rentabilidad		Comentarios sobre los costos
		US\$/g Hg eliminado	Otros indicadores	
Cámara de combustión de desechos municipales (CDM)	Separación de materiales (pilas)	\$3,19	\$0,41/tonelada métrica de DSM	Costos muy específicos de la comunidad; estos resultados se basan en el programa de una comunidad en particular. Para poder sustituir productos es necesario examinar las circunstancias particulares de cada caso; no es posible hacer estimaciones generales de costos. Los costos se refieren a una reducción del 85%; la gama de costos cubre dos plantas modelo. Costos equivalentes a un aumento calculado de costos de 1,3% (unidad grande) a 6,9% (unidad pequeña)* La gama de costos cubre dos plantas modelo. Los costos se refieren a una reducción de 85%; la gama de costos cubre dos plantas modelo.
	Sustitución de productos (por ejemplo, pilas, termómetros, etc.)	[Véase comentario]	[Véase comentario]	
	Inyección de carbón activado	\$0,46 – 1,92	\$0,77-3,85/ tonelada métrica de DSM	
	Lechos de filtros de carbón	\$1,13 – 2,39	\$5,98-10,33/ tonelada métrica de DSM	
	Depurador húmedo de pulido	\$3,52 – 7,31	\$5,83-14,85/ tonelada métrica de DSM	
Incinerador de desechos médicos (IDM)	Separación de materiales (pilas)	Menos de \$3,19 [Véase comentario]	Menos de \$0,41/toneladas métricas de DSM [Véase comentario]	Los costos varían en función del sitio. No hubo costos disponibles. Se supone que un programa hospitalario tiene mayor rentabilidad que un programa comunitario. Para estimaciones de la rentabilidad de instalaciones individuales, consúltese <i>Hospital/ Medical/ Infectious Waste Incinerators: Background Information for Promulgated Standards and Guidelines - Regulatory Impact Analysis for New and Existing Facilities</i> (EPA- 453/ R- 97- 009b)
	Buena combustión, depurador húmedo o depurador seco con inyección de carbón	--	--	
	Cambio con segregación de desechos		Aumento calculado de los costos 0,01-0,04% *	
	Cambio sin segregación de desechos		Aumento calculado de los costos de 0,02-0,09% *	

\* “Aumento calculado de los costos” es el aumento estimativo de los costos del servicio o producto que cubre el costo de esas medidas de control de emisiones.

Abreviatura: DSM – desechos sólidos municipales

Tabla 8.14 Rentabilidad de las medidas de control del mercurio en incineradores de desechos (según Pirrone et al., 2001) (tonelada = tonelada métrica)

Medida de control	Eficiencia de eliminación de mercurio	Costos			
		Inversión		Explotación y mantenimiento	
Cámara de combustión de desechos municipales	(%)	(US\$1000/tonelada de desechos)		(US\$1000/tonelada de desechos por año)	
Capacidad de la CDM		~180 t/día	~2000 t/día	~180 t/día	~2000 t/día
PE solamente	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FT solamente	29	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PE o FT + lecho de filtro de carbón	99	31,7	80,0	6,5	15,6
Inyección de carbón activado + PE o FT	50-90+	0,3	0,8	0,25	1,3
Depurador húmedo de pulido+ PE o FT	85	10,3	22,9	1,9	4,9
Incinerador de desechos médicos	(%)	(US\$1000/ton desechos)		(US\$ 1000/tonelada de desechos por año)	
Capacidad del IDM		~60 kg/hr	~460 kg/hr	~60 kg/hr	~460 kg/hr
PE solamente	10	n.d.	n.d.	n.d.	n.a.
FT solamente	29	n.d.	n.d.	n.d.	n.a.
Inyección de carbón activado+ FT	50-90+	56,5	127,0	89,0	84,0
Depurador húmedo de pulido + FT	85	400,0	400,0	100,0	100,0

Abreviaturas: PE - Precipitador electrostático

FT - Filtro de tejido (bolsas)

DGC - Desulfuración de gases de chimenea

ASA - Absorbedor de secador por atomización

MWh - Megavatios-hora

CDM - Cámara de combustión de desechos municipales

IDM - Incinerador de desechos médicos

### 8.5.2 Costos de la conversión de las plantas de cloro-álcali

714. Pirrone *et al.* (2001) y otros (Lindley 1997, Fauh 1991, etc.) han indicado que el proceso de membrana de las plantas cloroalcalinas tiene un mayor rendimiento energético que el proceso de celda de mercurio. Han señalado asimismo que es posible hacer la conversión del proceso de mercurio al proceso de membrana utilizando algunos de los equipos ya existentes. Aún teniendo presente que la decisión de pasar del proceso de mercurio a otro proceso no es puramente económica, conviene examinar los costos que supone la conversión.

715. Euro Chlor, la asociación que representa a la industria cloroalcalina europea, ha estimado que la conversión de una planta típica de electrólisis de mercurio a electrólisis de membrana costaría unos US\$500 por tonelada métrica de capacidad de producción de cloro. La *US EPA* (1997) produjo estimaciones de la conversión que son del mismo orden que los de Euro Chlor. Lindley (1997) también calculó costos de conversión de una planta cloroalcalina típica de Europa occidental en una suma de euros equivalente a unos US\$500 por tonelada métrica de capacidad de producción de cloro. Harris (2001) estimó los costos de conversión en la gama de US\$400-700 por tonelada métrica de capacidad de producción de cloro y calculó un ahorro de costos operativos en la gama de \$30-50 por tonelada métrica de capacidad de cloro. Señaló que el atractivo económico de cada proyecto dependerá mucho de las circunstancias particulares, pero concluyó que la conversión será económicamente atractiva sólo en casos excepcionales.

716. Conviene comparar esos altos costos de conversión con las sorprendentes reducciones en las emisiones de mercurio (96% desde 1977) de las industrias cloroalcalinas de Europa y en el consumo de mercurio (75% desde 1995) de las de Estados Unidos logradas en los últimos años (véase el capítulo 7) gracias a una modernización de los equipos y a diversas mejoras en las prácticas de gestión – a costos por lo menos 100 veces menores por gramo de mercurio que se impidió salir al medio ambiente. Desde

esa óptica, la mayor prioridad a corto plazo y la mayor reducción en las liberaciones de mercurio para una inversión muy modesta se podrían lograr ampliando esa experiencia y esas técnicas lo más rápido posible a las demás plantas de cloro-álcali por proceso de mercurio del mundo. A pesar de las reducciones logradas gracias a esas medidas, cabe prever un consumo considerable de mercurio hasta que se lleve a cabo la conversión a tecnologías sin mercurio. Las minuciosas directrices del Instituto del Cloro (Estados Unidos) y Euro Chlor (Europa) sobre la prevención de las emisiones atmosféricas y otras liberaciones deberían servir para indicar el método más rápido y menos costoso que conviene seguir.

### 8.5.3 Costos de las medidas de control de las liberaciones procedentes de la minería artesanal de oro

717. En párrafos anteriores se planteó una larga lista de medidas para reducir las liberaciones y exposiciones procedentes de las actividades artesanales de extracción de oro. Según las medidas que se desee tomar, la gama de costos conexos es vasta. Por lo tanto, se eligió el establecimiento de un centro de amalgamación típico como ejemplo de medidas “extremas” que quizá se deban tomar para tener realmente un efecto profundo en un gran número de mineros de una región determinada.

718. De acuerdo con ONUDI (UNIDO, 1997), el costo de establecer un centro de tipo UNECA (véase la sección 8.3.6) depende del proceso que se adopte (amalgamación con placas especiales y/o lixiviación por proceso electrolítico con NaCl), las necesidades de infraestructura, suministro de energía, obras civiles, costos de materiales, costos de transporte y mano de obra de la región minera. La tabla 8.15 presenta un resumen de los costos estimativos de inversión y explotación.

Tabla 8.15 Costos de inversión estimativos de un centro UNECA (según UNIDO, 1997)

<i>Costos de inversión fijos estimativos (equipos)</i>	<b>US\$</b>
Placas de amalgamación (2 esclusas con ocho placas de 30x40 cm cada una, en marco metálico)	20.000
Campanas de aspiración, filtros de aire, depuradores, retortas, horno de fundición	39.000
Sistema electrolítico de lixiviación, incluyendo filtros y columna de carbón activado	60.000
Otro	10.000
<b>Subtotal de costos de inversión fijos</b>	<b>129.000</b>
<i>Costos de inversión variables estimativos</i>	
Construcciones de ingeniería civil y de distribución de agua	20.000
Mecánica y electricidad	10.000
Costos de personal (ingeniero, obreros, gastos, capacitación)	88.000
<b>Subtotal de costos de inversión variables</b>	<b>118.000</b>
<b>TOTAL DE COSTOS DE INVERSIÓN</b>	<b>247.000</b>

### Procesos de recuperación de oro sin utilizar mercurio

El Centro de Tecnología Mineral (CETEM) de Río de Janeiro (UNIDO, 1997) ha elaborado un **proceso electrolítico** para lixiviar oro, que fue ensayado en una planta piloto de la región de Tapajós en Brasil. Este proceso tiene el potencial de reemplazar la amalgamación de concentrados gravimétricos. Se mezcló un material que contenía 1 ppm de Au con cloruro de sodio (1 Mol/l), que se transforma por electrólisis en una mezcla de hipoclorito y clorato de sodio. Más del 95% del oro se disuelve en menos de 4 horas y se recoge en un cátodo de grafito. La solución se recicla continuamente, reduciéndose al mínimo la descarga de efluente. El consumo de NaCl y energía es de 100 kg/tonelada métrica de mineral y 170 kwh/kg de Au respectivamente. La lixiviación se hace en tanques de plástico, lo cual reduce el costo de inversión. El procedimiento es factible, relativamente simple y barato. El inconveniente principal, por supuesto, es que se necesita personal capacitado para controlar las variables de la operación (pH, densidad de corriente, etc).

El centro de procesamiento de tipo UNECA es adecuado para instalar en poblados mineros o en cualquier zona central a fin de facilitar el transporte de los concentrados gravimétricos. El oro se recupera realmente mejor y la exposición de los operarios al mercurio es insignificante. El minero que lleva su concentrado a un centro de procesamiento obtiene la ventaja adicional de reducir los costos en su propia planta de procesamiento. Esos centros cumplen una función importante informando acerca del mercurialismo causado por los vapores de mercurio y la ingestión de pescado contaminado. Los mineros pueden recibir folletos e instrucciones suplementarias mientras esperan que se procesen sus concentrados. Los centros pueden asesorar a los mineros sobre cómo mejorar su producción y constituyen un lugar de reunión para otros fines de educación y organización.

Otra opción es el proceso Minataur, elaborado en Sudáfrica por Mintek, organismo gubernamental de investigación de tecnologías minerales (MMSD, 2002). El mineral se trata con ácido clorhídrico en presencia de hipoclorito de sodio y luego con metabisulfato de sodio o ácido oxálico para obtener un precipitado de oro en polvo, con una ley de 99,5%.

719. Los costos presentados en la tabla 8.15 no incluyen el suministro de energía, que debe estar disponible en el sitio, ni el costo de terrenos, que podría ser concertado por la comunidad local. La inversión total de capital de casi US\$ 250.000 es alta, pero se puede reducir mucho después de instalar el primer centro, ya que se puede capacitar a muchos trabajadores locales y transferir la tecnología a técnicos locales para que se encarguen de construir otros centros.

720. Además de los costos de inversión, se deben considerar asimismo los costos de operación, que se presentan en la tabla 8.16.

Tabla 8.16 Costos de operación estimativos mensuales de un centro UNECA (según UNIDO, 1997)

Costos de operación estimativos	US\$ /mes
• Trabajadores y personal de seguridad	4.900
• Electricidad y gas	1.500
• Suministros y mantenimiento	6.000
• Vigilancia del mercurio	500
• Eliminación apropiada, etc.	2.000
<b>TOTAL</b>	<b>14.900</b>

721. Como en Venezuela, el centro UNECA puede cobrar US\$1/kg de concentrado procesado, obteniendo de ese modo un ingreso de unos US\$10.000/mes, que casi cubre los costos de operación. Los centros UNECA también son centros de descontaminación. Usando el proceso electrolítico, se puede extraer oro y mercurio residual de "puntos calientes" dragados. Del mismo modo, las colas producidas por mineros individuales que siguen amalgamando sus concentrados también se pueden tratar en el centro. Como las colas tienen un alto contenido de oro, como se observó en Venezuela, empresas privadas podrían encargarse, con provecho, de la etapa de descontaminación. El centro debería proveer un vertedero seguro para los residuos descontaminados.

#### 8.5.4 Otros costos y beneficios

##### A. Beneficios para la salud humana

722. Los beneficios para la salud humana relacionados con las reducciones de mercurio en la biosfera ya han sido examinados en detalle en el capítulo 4.

##### B. Costos económicos del uso de mercurio, especialmente en productos

723. Los costos puramente económicos de tratar el problema del mercurio en nuestros productos y nuestro entorno son considerables, pero describirlos en detalle está fuera del alcance de esta evaluación. Sin embargo, cabe mencionar algunos ejemplos, tales como el costo de la recolección selectiva de productos que contienen mercurio; el reciclaje o la eliminación aceptable de los desechos, ya sea en un vertedero especial o en un incinerador de desechos peligrosos; la elaboración y aplicación de legislación relativa al mercurio en todos los sectores de la economía; el rastreo de los movimientos de los desechos de mercurio; la ejecución de programas extensos que abarcan diversos países (como la región de los Grandes Lagos de Estados Unidos y Canadá) para reducir de manera significativa las liberaciones de mercurio; las instancias a los fabricantes de automóviles para que sustituyan los interruptores de mercurio; los dispositivos y medidas de control especiales en los incineradores de desechos municipales para eliminar el mercurio de los gases de chimenea, etc. Todos esos ejemplos representan costos para las economías locales, regionales y mundiales que todavía hay que pagar porque el mercurio continúa circulando de manera bastante libre en todas esas economías.

##### C. Beneficios de la reducción del mercurio para el medio ambiente y el bienestar

724. Como ejemplo de la gran variedad de beneficios que a menudo pasan desapercibidos, es interesante considerar en cierto detalle las ventajas para el medio ambiente y el bienestar que se obtienen reduciendo la contaminación por mercurio. Como señala la *US EPA* (1997), el mercurio puede perjudicar los **sistemas ecológicos** a diversos niveles: el organismo individual, la población y la comunidad o el ecosistema. Si bien los efectos en las poblaciones, comunidades y ecosistemas son de interés primordial para la mayoría de las especies, los efectos individuales también son importantes, porque pueden provocar efectos a niveles superiores del sistema ecológico, especialmente en poblaciones vulnerables o reducidas, tales como las formadas por especies amenazadas o en peligro de extinción, las rapaces y los animales de pelaje.

725. De modo semejante, la reducción de la carga mundial de mercurio redundará en **beneficios culturales y en bienestar**. La *US EPA* (1997) observó que los tres principales perjuicios sociales y económicos que sufren las poblaciones indígenas son (1) el desmedro de los valores culturales y religiosos; (2) el perjuicio a las actividades de subsistencia (por ejemplo, la pesca de subsistencia), y (3) la disminución de recursos naturales de uso comercial. La pesca a menudo cumple una función en esas tres áreas. Con respecto a los valores culturales, por ejemplo, los indígenas de Wisconsin han desarrollado tradiciones centenarias en torno al arponeado de los peces y el reparto de la captura. Las preocupaciones cada vez mayores acerca de la limitación del consumo de pescado y los lugares en que se pueden pescar pueden estar perjudicando seriamente las tradiciones tribales (*US EPA* 1997).

726. La Comisión de la Caza y la Pesca de Arkansas (*Arkansas Game and Fish Commission*) trató de cuantificar las pérdidas monetarias sufridas en la pesca a causa de la contaminación por el mercurio hasta 1994. Aunque no ha publicado sus resultados (*Armstrong* 1994), la Comisión estimó que de 1991 a 1992 la pérdida por concepto de gastos de pesca debido a las recomendaciones sobre el consumo de pescado superó los US\$5 millones. Para hacer esa estimación, se calculó la disminución de compras de permisos de pesca en condados donde se habían emitido recomendaciones relativas al mercurio, que se multiplicó por el número promedio de excursiones que un pescador hace por año y por el importe promedio de gastos que éste tiene en cada excursión. Las variaciones en los gastos representan cambios en el bienestar de las personas (*US EPA* 1997).

727. Además del trabajo mencionado, poco se ha hecho para cuantificar el valor de la mayoría de esos beneficios relacionados con el medio ambiente y el bienestar, que de todos modos varían mucho

según las regiones. Por lo tanto, en el resumen que aparece en la tabla 8.17 no se hace ningún intento de cuantificación.

*Tabla 8.17 Resumen de los beneficios más comunes para el medio ambiente y el bienestar, así como los posibles efectos adversos de la contaminación por el mercurio (procedente de US EPA, 1997)*

<b>Beneficio ecológico o de bienestar, o categoría de uso</b>	<b>Efecto adverso de la contaminación por el mercurio</b>
Pesca deportiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución del número de excursiones de pesca</li> <li>• Pérdida de valor en cada excursión debido a las recomendaciones sobre el consumo de pescado</li> <li>• Pérdida de valor porque no se puede consumir pescado</li> </ul>
Pesca comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de valor del pescado que sobrepasa la concentración máxima permisible</li> <li>• Disminución de la demanda de pescado de todas las clases debido a la percepción de una amenaza para la salud</li> </ul>
Pesca de subsistencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de valor del pescado que ya no se consume</li> <li>• Pérdida de valor nutricional</li> <li>• Pérdida de valor cultural asociado con la actividad de pesca de subsistencia</li> </ul>
Madera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución del crecimiento/productividad de los bosques comerciales</li> </ul>
Actividades forestales recreativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del número y/o el valor de las actividades recreativas debido a una disminución de la calidad de la vegetación circundante</li> </ul>
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del crecimiento/productividad de los cultivos</li> </ul>
Caza con armas o con trampas - deportiva o comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción o pérdida del valor comercial de las especies buscadas</li> <li>• Disminución del valor de la caza deportiva con armas o trampas al reducirse la población de las especies buscadas</li> </ul>
Caza recreativa de aves	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución del número de excursiones para cazar las especies buscadas</li> <li>• Pérdida de valor por cada excursión debido a la disminución de especies buscadas</li> </ul>
Observación de aves u otros animales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución del valor de las actividades recreativas al disminuir las probabilidades de observar las especies buscadas</li> </ul>
Valores culturales/religiosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de los valores culturales/religiosos debido a las recomendaciones sobre el pescado, no relacionadas con el uso</li> </ul>
Valor de existencia de determinadas especies, incluyendo valor de opción, valor de legado, valor en razón de la escasez.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectos adversos sobre determinadas especies (individuos y poblaciones)</li> </ul>
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectos adversos en la biodiversidad</li> </ul>
Valor de buena administración, incluyendo la obligación moral de reducir el daño a los recursos ecológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectos adversos en especies determinadas o en general</li> </ul>
Preservación de la salud de los ecosistemas, incluyendo el mantenimiento de las relaciones entre depredadores y presas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectos adversos en la salud de los ecosistemas</li> </ul>

## 9 Iniciativas para controlar liberaciones y limitar el uso y la exposición

### 9.1 Panorama general

728. El capítulo 9 responde a la solicitud del Consejo de Administración del PNUMA de describir las medidas permanentes y compilar información sobre planes nacionales, subregionales o regionales futuros para controlar las liberaciones y limitar el uso y las exposiciones, incluyendo en ello las prácticas de gestión de desechos. El capítulo se divide en 4 secciones:

- Iniciativas nacionales para controlar liberaciones y limitar el uso y la exposición al mercurio;
- Acuerdos e instrumentos internacionales y su pertinencia con respecto al mercurio;
- Organizaciones y programas internacionales y su pertinencia con respecto al mercurio;
- Iniciativas subregionales y regionales y su pertinencia con respecto al mercurio.

729. La primera sección sobre iniciativas nacionales examina la cuestión desde diversos puntos de vista. En primer lugar, se presenta un panorama general de los principales tipos de medidas aplicadas y el estado actual de aplicación. A continuación se ofrece una descripción más detallada de los distintos tipos de medidas empleadas para reducir o eliminar determinados usos en los productos o en las liberaciones desde las fuentes y se dan ejemplos concretos de diferentes países que han tomado medidas. Por último, se describen detalladamente tres ejemplos nacionales de formas de proceder coordinadas para obtener un determinado objetivo de reducción o eliminación de usos o liberaciones de mercurio, ejemplos que conllevan una amplia reglamentación nacional sobre el uso y la manipulación del mercurio en la sociedad, junto con una indicación sobre las reducciones en el consumo y el uso del mercurio que se obtuvieron a través de estas iniciativas.

730. Las tres últimas secciones ofrecen un catálogo de información sobre acuerdos e instrumentos internacionales, organizaciones y programas internacionales e iniciativas subregionales y regionales, y su pertinencia con respecto al mercurio. Sólo algunas de estas iniciativas son jurídicamente vinculantes para los países participantes. No obstante, estas iniciativas son valiosos complementos de las iniciativas nacionales y facilitan las medidas de concienciación, el intercambio de información y el establecimiento de objetivos de reducción.

731. Debería advertirse que, en un apéndice de este informe titulado “Recuento de acciones nacionales presentes y futuras, incluida la legislación, relativas al mercurio” (Overview of existing and future national actions, including legislation, relevant to mercury), se ofrece, a modo de complemento de este capítulo, una compilación más detallada de las iniciativas nacionales en cada país, incluida la legislación. Este apéndice se ha publicado en un documento aparte. La información que en él se compila se ha sacado de las presentaciones nacionales recibidas con motivo de este proyecto y se ha organizado siguiendo las mismas distinciones que en esta sección, lo cual permite encontrar otros ejemplos de la mayoría de los tipos de medidas que se describen en esta sección.

732. El capítulo muestra que las autoridades ambientales de muchos países consideran que el mercurio es una sustancia de alta prioridad con efectos adversos reconocidos. Estas autoridades están al tanto de los problemas potenciales que causan el uso y la liberación del mercurio y los compuestos de mercurio y, por lo tanto, han considerado necesario proteger la salud y el medio ambiente de sus efectos adversos mediante la aplicación de medidas nacionales para limitar o evitar ciertos usos y liberaciones. Sin embargo, también está claro que, dada la perdurabilidad del mercurio en el medio ambiente y que el aire y el agua lo transportan a lo largo de grandes distancias, cruzando así fronteras y, a menudo, acumulándose en la cadena alimentaria desde su punto original de liberación, algunos países han llegado a la conclusión de que las medidas nacionales no son suficientes. Estos países han puesto en marcha medidas regionales, subregionales e internacionales con el fin de fijar objetivos comunes de reducción y lograr que se apliquen medidas coordinadas.

733. Con respecto a la información de este capítulo, de no mencionarse referencia alguna, la información sobre iniciativas nacionales y medidas reglamentarias se basa en las presentaciones



nacionales para este proyecto. La información sobre iniciativas internacionales, subregionales y regionales se basa, además de en las presentaciones nacionales, en la información disponible en los sitios web públicos de las organizaciones o iniciativas descritas.

## 9.2 Iniciativas nacionales

### 9.2.1 Panorama de las iniciativas nacionales vigentes

734. La tabla 9.1 ofrece un panorama de los tipos de medidas de importancia aplicadas a la gestión y control del mercurio, en relación con su producción y su ciclo de vida útil, y una indicación del estado de su aplicación. Como puede verse en la tabla, los tipos de medidas vigentes cubren la mayoría de las fases del ciclo de vida de los productos y procesos del mercurio. Véase también el capítulo 8 para mayor información sobre las tecnologías de prevención o de control para reducir las liberaciones de mercurio.

### 9.2.2 Características comunes de las iniciativas nacionales vigentes

735. Algunos países han llevado a cabo iniciativas y medidas nacionales —incluyendo las legislativas— para gestionar y controlar las liberaciones y limitar el uso del mercurio y la exposición a él en sus territorios.

736. La legislación ofrece un impulso y un marco para una gestión segura de los productos químicos, incluidos el mercurio y sus compuestos. La legislación puede adoptar forma de leyes, decretos, órdenes, reglamentos, reglas, criterios, normas y otras formas similares de declaraciones escritas de la política nacional y de las exigencias de comportamiento. La legislación nacional a menudo consta de una o más leyes generales o marco que se aplican por medio de reglamentos subsidiarios concretos. Son raros los países que tienen una sola ley para los productos químicos, incluyendo el mercurio. Habitualmente los países cuentan con diversas formas de legislación y los distintos ministerios afectados participan conjuntamente, lo cual pone de manifiesto la necesidad de cooperación entre los ministerios para elaborar, aplicar e imponer la legislación sobre productos químicos.

737. Aunque la legislación es el componente clave de la mayoría de las iniciativas, la gestión segura del mercurio también puede incluir medidas para reducir el volumen del mercurio utilizado mediante la elaboración y aplicación de alternativas más seguras y de una tecnología más limpia. También puede incluir otras medidas nacionales, como la utilización de subvenciones para apoyar el empleo de productos sucedáneos y los acuerdos voluntarios con la industria y con los usuarios del mercurio.

738. Estas iniciativas han estimulado reducciones significativas en el consumo del mercurio en algunos países y las consiguientes reducciones de liberaciones. A la fecha, los panoramas disponibles de las iniciativas nacionales en relación con el mercurio —legislación inclusive— se han limitado principalmente a los países de la OCDE. La información nacional presentada a la Evaluación Mundial sobre el Mercurio desde todas las regiones del mundo ha aportado nuevos elementos sobre el asunto.

739. Los objetivos generales de las iniciativas vigentes sobre el mercurio son reducir o prevenir la liberación de mercurio en el medio ambiente y evitar sus efectos directos o indirectos en la salud humana y en el medio ambiente. Se pueden encontrar numerosas características comunes entre los países que han presentado información para este proyecto. En términos generales, las iniciativas pueden agruparse de la siguiente manera:

- A. Normas de calidad ambiental que fijan la concentración máxima aceptable de mercurio para diferentes medios, como agua potable, aguas superficiales, aire y suelo, así como para alimentos como el pescado;
- B. Acciones y normativas relacionadas con fuentes ambientales para controlar las liberaciones de mercurio en el medio ambiente, como las restricciones a las emisiones de fuentes puntuales en

aire y agua, el fomento de las mejores tecnologías disponibles, tratamiento de desechos, y restricciones a su eliminación;

C. Acciones y normativas de control de productos para productos con mercurio, como baterías, cosméticos, amalgamas dentales, lámparas, pinturas/pigmentos, plaguicidas, productos farmacéuticos, etc.;

D. Otras normas, acciones y programas, como los reglamentos sobre exposición al mercurio en el lugar de trabajo, requisitos de información y notificación sobre uso y liberaciones de mercurio en la industria, recomendaciones para el consumo de pescado, y medidas de seguridad para el consumidor.

740. Como puede verse, hasta ahora ningún país ha elaborado una legislación completa que cubra el ciclo de vida del mercurio. Muchos países han puesto en marcha diversas medidas y reglamentos que cubren usos o liberaciones concretas; en algunos de estos países las medidas adoptadas cubren el ciclo de vida completo del mercurio. A menudo ocurre que la legislación relativa a la producción, comercialización y uso del mercurio y de los productos que contienen mercurio se refiere exclusivamente al mercurio, mientras que la legislación sobre liberaciones y eliminación de desechos suele ser más general y abarca los metales pesados y determinados contaminantes inorgánicos y orgánicos.

741. Debiera advertirse que existen grandes diferencias entre los países y regiones en relación con el tipo y el número de usos y liberaciones controlados. Algunos países han notificado que no tienen ninguna legislación sobre el mercurio, mientras que Suecia, por ejemplo, cuenta con diversos reglamentos destinados en su conjunto a eliminar, en la medida de lo posible, la mayoría de los usos del mercurio en el país hacia el año 2003 (para mayor información, véase el apartado dedicado a Suecia en la sección 9.2.4). También debe tenerse en cuenta que la existencia o no de iniciativas y de legislación sobre el mercurio en un país debe interpretarse en relación con los regímenes de uso y liberación de dicho país y con la necesidad de ocuparse de los riesgos concretos para la salud y el medio ambiente que planteen tales usos y liberaciones.

### 9.2.3 Tipos comunes de iniciativas nacionales

742. Esta sección contiene un resumen de algunos de los tipos más comunes de iniciativas aplicadas en cada uno de los 4 grupos descritos anteriormente. Debe advertirse que las descripciones son generales y que algunos países podrían disponer de medidas aún más restrictivas.

743. El apéndice de este informe titulado “Recuento de acciones nacionales presentes y futuras, incluida la legislación, relativas al mercurio” (*Overview of existing and future national actions, including legislation, relevant to mercury*) presenta una compilación más detallada de las iniciativas nacionales —legislación inclusive— de cada país. Este apéndice se ha publicado en un documento aparte. La información que en él se compila se ha sacado de las presentaciones nacionales recibidas con motivo de este proyecto y se ha organizado siguiendo las mismas distinciones que en esta sección, lo cual permite encontrar otros ejemplos de la mayoría de tipos de medidas que se describen en esta sección.

Tabla 9.1 *Panorama de las medidas de importancia aplicadas al mercurio, en relación con su producción y su ciclo de vida útil, y una indicación del estado de su aplicación basada en información presentada para este informe.*

TIPO DE MEDIDA Y FINALIDAD		SITUACIÓN DE LA APLICACIÓN
<b>Fases de producción y uso del ciclo de vida</b>		
F U E N T E S  P U N T U A L E S	Evitar o limitar el uso intencional de mercurio en procesos	Prohibiciones generales aplicadas en muy pocos países
	Evitar o limitar la liberación directa del mercurio de procesos industriales (p. ej., en la industria metalúrgica y cloroalcalina)	Aplicada en muchos países, en particular en los países de la OCDE
	Aplicar tecnologías de control de emisiones para limitar las emisiones de mercurio por el uso de combustibles fósiles y el procesamiento de materiales minerales	Aplicada en algunos países de la OCDE
	Evitar o limitar la liberación de mercurio de procesos hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales	Aplicada en algunos países de la OCDE
	Evitar o limitar el uso de tecnología obsoleta y/o exigir el uso de las mejores tecnologías disponibles para reducir o evitar liberaciones de mercurio	Aplicada en algunos países, en particular en países de la OCDE
P R O D U C T O S	Evitar o limitar la comercialización nacional de productos que contienen mercurio	Prohibiciones generales aplicadas sólo en pocos países. Son más comunes las prohibiciones o restricciones de productos específicos: baterías, lámparas, termómetros clínicos
	Evitar la exportación de productos que contienen mercurio	Aplicada en muy pocos países
	Evitar o limitar el uso de mercurio y productos con mercurio ya adquiridos	Aplicada en muy pocos países
	Limitar el contenido permisible de mercurio presente como impurezas en materiales de gran volumen	Aplicada en muy pocos países
	Limitar el contenido permisible de mercurio en alimentos comerciales, en particular el pescado, y ofrecer orientación (con base en los mismos u otros valores límite) sobre el consumo de pescado contaminado	Aplicada en algunos países, en particular en países de la OCDE. Algunos países utilizan las directrices de la OMS.
<b>Fase de eliminación del ciclo de vida</b>		
Evitar, mediante una recolección eficiente de desechos, que el mercurio en desechos de productos y procesos se libere directamente al medio ambiente		Aplicada en muchos países, en particular en países de la OCDE
Evitar, mediante recolección y tratamiento por separado, que el mercurio en desechos de productos y procesos se mezcle con desechos menos peligrosos en el flujo general de desechos		Aplicada en muchos países, en particular en países de la OCDE
Evitar o limitar, mediante tecnologías de control de emisiones, las liberaciones de mercurio en el medio ambiente que provienen de incineración y otros tratamientos de desechos domésticos, desechos peligrosos y desechos médicos		Aplicada o por adoptarse en algunos países, en particular en países de la OCDE.
Establecer valores límite para contenido permisible de mercurio en lodos de depuración esparcidos en terrenos agrícolas		Aplicada en algunos países
Restringir el uso de residuos sólidos de incineración en la construcción de carreteras, edificación y otros usos		Aplicada en algunos países de la OCDE
Evitar la recomercialización de mercurio utilizado o reciclado		Aplicada en muy pocos países

### A. Normas de los medios ambientales, con indicación de la concentración máxima aceptable de mercurio para los diferentes medios

744. **Agua, aire y suelo.** Con el fin de limitar la exposición de la población en general al mercurio y a los compuestos de mercurio, algunos países han establecido normas que fijan los límites de la concentración máxima aceptable del mercurio en diversos medios, como el agua (agua potable, aguas superficiales, agua para riego, agua para la ganadería, etc.), el aire (aire ambiente, aire interior, etc.) y el suelo. Contrariamente a los reglamentos relacionados con la fuente, que se aplican directamente a cada una de las fuentes, estas normas ambientales tienen un efecto indirecto en cada una de las fuentes y liberaciones. A menudo constituyen la base de una reglamentación de las fuentes individuales. Los límites cambian de un país a otro, como puede verse en los ejemplos del apéndice mencionado anteriormente.

745. También debería advertirse que la OMS ha elaborado directrices sobre la calidad del agua potable (WHO, 1993) y la calidad del aire (WHO, 1999) que constituyen una base para proteger la salud pública de los efectos adversos de la contaminación del aire y para eliminar, o reducir al mínimo, los contaminantes que son conocidos por el peligro que representan para la salud y el bienestar humanos. Estas dos directrices también se refieren al mercurio y ofrecen información general para establecer normas nacionales de calidad. Al pasar de las directrices a las normas, debieran tenerse en cuenta los niveles de exposición y las condiciones ambientales, sociales, económicas y culturales imperantes en el país. En determinadas circunstancias puede haber razones válidas para proseguir con políticas que permitirán establecer concentraciones de contaminantes por encima o por debajo de los valores de las directrices.

746. **Productos alimenticios.** Para limitar la exposición de la población al mercurio y a los compuestos de mercurio, ciertos países han establecido normas que fijan los límites aceptables de concentración en algunos productos alimenticios. Los productos más comunes parecen ser el pescado y el marisco, aunque India también ha informado de límites para las verduras y la leche. Las normas varían de un país a otro y en el apéndice mencionado anteriormente se pueden encontrar ejemplos. Véase también la sección 4.2.1 en relación con los límites del mercurio en el pescado.

747. La Comisión FAO/OMS del Codex Alimentarius también ha establecido los siguientes niveles indicativos para el metilmercurio en el pescado:

Todo el pescado menos los peces depredadores:	0,5 mg/kg;
Peces depredadores (como el tiburón, el pez espada, el atún, el lucio y otros)	1 mg/kg.

Cuando se sobrepasan los límites indicativos, se aconseja a los gobiernos que decidan las circunstancias en que dichos alimentos deberían distribuirse en su territorio y las recomendaciones —de haberlas— que deberían darse en cuanto a restricciones en el consumo, sobre todo por parte de grupos vulnerables, como las mujeres embarazadas (Codex Alimentarius, 1991).

748. **Consumo.** Algunos países han emitido recomendaciones sobre el consumo de productos alimenticios que se sabe contienen altas concentraciones de mercurio. Por ejemplo, Australia, Canadá, Noruega, Suecia, Gran Bretaña y Estados Unidos han emitido avisos a los consumidores de pescado, que contienen recomendaciones sobre la forma de reducir la exposición al mercurio y a otros productos químicos tóxicos a través del consumo de pescado. A menudo, los grupos de consumidores especialmente en riesgo, como las mujeres embarazadas o en edad de procrear, están cubiertos por tales avisos.

749. La Administración de Drogas y Alimentos de Estados Unidos (*US Food and Drug Administration, FDA*) ha aconsejado a las mujeres en edad fértil que limiten su consumo de tiburón, pez espada, blanquillo camello y carite lucio debido a su contenido en metilmercurio. Los estados, tribus y territorios tienen la responsabilidad de emitir recomendaciones sobre el consumo del pescado que se captura localmente; muchos departamentos de salud estatales utilizan una concentración de 0,5 ppm de metilmercurio como desencadenante de esos avisos. Las autoridades suecas aconsejan a las mujeres embarazadas, a las lactantes y a las que prevén tener hijos pronto que no consuman especies como el lucio, la perca, el lucio perca, la lota de río y la anguila debido al riesgo de que aumente la

exposición al metilmercurio. Dado que, en general, se aconseja el consumo de pescado, se anima a la población general a que consuma estas especies pero no más de una vez por semana en término medio. Otro ejemplo es el de la *Food Standards Agency* de Gran Bretaña, que, en mayo de 2002, notificó que las mujeres embarazadas, las que preveían quedar embarazadas, los bebés y los niños de menos de 16 años deberían evitar comer tiburón, pez espada y marlín. Es improbable que el consumo ocasional de tiburón, pez espada o marlín dentro de una dieta equilibrada tenga efectos dañinos pero, de manera preventiva, se desaconsejó al consumidor británico que comiera más de una porción semanal de estos tres peces.

750. **Exposición.** Una herramienta empleada para evaluar el riesgo que representa el mercurio para la población general son las evaluaciones de respuesta a una dosis dada. La *US EPA* ha establecido, por ejemplo, una “dosis de referencia” para el metilmercurio de 0,1 µg/kg de peso corporal por día. La dosis de referencia es un cálculo aproximado de la exposición diaria para la población humana que es probable que no represente un riesgo apreciable de efectos adversos durante la vida. Canadá estableció recientemente una ingesta diaria tolerable (*Tolerable Daily Intake*) para el mercurio de 0,2 µg/kg de peso corporal por día para las mujeres en edad de procrear y niños pequeños, con arreglo a razones sanitarias de exposición prenatal y durante el periodo del primer desarrollo del sistema nervioso central en la infancia.

751. Asimismo, el Comité Conjunto Experto FAO/OMS sobre Aditivos Alimentarios (JECFA) ha establecido una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) para el metilmercurio de 3,3 µg/kg de peso corporal por semana. La ingesta tolerable representa el nivel máximo aceptable de un contaminante en la dieta; el objetivo debería ser limitar la exposición hasta lo máximo posible con arreglo a la ISTP (FAO/WHO, 1999).

## **B. Controles o reglamentos de las fuentes ambientales que controlan las liberaciones de mercurio en el medio ambiente**

752. **Límites de emisiones de fuentes de aire y agua.** Muchos países disponen de una legislación que establece las liberaciones máximas de mercurio (y de otros contaminantes) permisibles, procedentes de diversos tipos de instalaciones industriales y de otro tipo (fuentes puntuales) en el aire, agua y suelo o aguas subterráneas. Esta legislación puede exigir la utilización de filtros para los gases de escape, tratamiento de aguas residuales y tratamiento de desechos sólidos similares a los de incineradores de desechos domésticos. Asimismo, se ha promulgado legislación para prevenir o limitar la liberación de mercurio de los procesos en el sistema de aguas residuales a fin de limitar las liberaciones a los usuarios del agua, para permitir el uso de lodos de depuración como fertilizantes en tierras agrícolas y para reducir los costos de tratamiento. También son comunes en algunos países las legislaciones que limitan las emisiones de ciertos contaminantes procedentes de la quema de combustibles fósiles; sin embargo, las legislaciones que cubren las emisiones de mercurio procedentes de centrales eléctricas de carbón (una de las fuentes principales) son raras.

753. **Mejores técnicas disponibles**<sup>28</sup>. Para cierto tipo de industrias potencialmente muy contaminantes - como la industria de cloro-álcali -, la legislación podría no limitarse sólo a establecer límites de emisiones en el aire, agua y suelo, sino también exigir la utilización de métodos de producción específicos menos contaminantes y de tecnologías para prevenir la contaminación o “mejores técnicas disponibles”.

754. Por ejemplo, en las enmiendas a la ley de protección de la calidad del aire (*Clean Air Act*) de 1990, la *US EPA* reglamenta las emisiones de contaminantes peligrosos del aire por categorías de fuentes industriales, utilizando para ello las normas *MACT* (tecnología del máximo control alcanzable) para cada “fuente importante” en cualquier categoría de fuente. Una norma *MACT* se define con arreglo

---

<sup>28</sup> Frente a las “mejores tecnologías disponibles,” las “mejores técnicas disponibles” constituyen una expresión más amplia que abarca las mejores tecnologías disponibles y tiene en cuenta también otras técnicas, como el cambio de procesos, etc. Las mejores técnicas posibles se emplean cada vez más en los foros regionales (p. ej., Unión Europea) y mundiales (por ejemplo, el Convenio de Estocolmo y el Protocolo de Aarhus sobre el Convenio sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia), donde están bien definidas y aceptadas.

a un análisis de la tecnología de control existente entre las fuentes mejor controladas en una categoría de fuente dada. Otro ejemplo es la Directiva del Consejo de la Comunidad Europea 96/61/CE del 24 de septiembre de 1996 en relación con la prevención y el control integrados de la contaminación. Esta Directiva exige la aplicación de las mejores técnicas disponibles para prevenir o reducir la contaminación del aire, agua y tierras procedente de ciertas actividades industriales, con el fin de lograr un alto nivel de protección del medio ambiente considerado como un conjunto. En el proceso de aplicación de la directiva se elaboraron documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para los diferentes sectores. Para mayor información, véase el apartado dedicado a la Comunidad Europea en la sección 9.2.4.

755. **Incineración de desechos.** En algunos países existen legislaciones que establecen las liberaciones máximas permisibles de ciertos contaminantes —como el mercurio— en la atmósfera y en las aguas residuales, procedentes de instalaciones de incineración de desechos domésticos y peligrosos respectivamente, así como especificaciones sobre el depósito de los residuos sólidos de la incineración. Estas legislaciones podría dictar indirectamente la utilización de un número limitado de tecnologías para el control de las emisiones, que puedan responder a los requisitos sobre las emisiones. Por ejemplo, algunos países cuentan con amplios sistemas de filtración de gases de escape en todas las instalaciones de incineración de desechos (peligrosos, médicos y domésticos), de manera que frenan la emisión de una parte importante del mercurio que, en caso contrario, se emitiría.

756. **Uso de los residuos sólidos de la incineración.** También existe legislación que establece las concentraciones máximas permisibles de mercurio, a menudo con las de otros contaminantes, en las cenizas y escoria de la incineración de desechos y quema de combustibles fósiles que pueden emplearse para la construcción (carreteras, etc.), así como en los lodos de depuración que se emplean para fertilizar las tierras agrícolas.

757. Por ejemplo, Belarús informa que la responsabilidad, las condiciones de almacenamiento, la recogida y la utilización de los desechos que contienen mercurio se rigen por el documento normativo titulado “Reglamento sobre las modalidades de contabilidad, almacenamiento y recogida del mercurio y de los desechos que contienen mercurio”, aprobado por los ministerios de Economía, Recursos Naturales y Protección del Medio Ambiente, Salud Pública, y Situaciones Extremas. En Suiza, por ejemplo, la Ordenanza sobre Sustancias (1986) establece un nivel máximo de 5 mg/kg de mercurio en los lodos de depuración (OECD, 1994), mientras que en Finlandia los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden utilizarse en la agricultura como fertilizantes si la concentración de mercurio en los lodos tratados se sitúa por debajo de 1 mg/kg de peso seco.

758. **Tratamiento de los desechos.** En algunos países, sobre todo en los que forman parte de la OCDE, existen legislaciones que establecen la recogida y el tratamiento de los desechos por separado de productos y desechos de procesos que contienen mercurio —por ejemplo, las pilas, los tubos de luces fluorescentes, y los residuos de los filtros de las amalgamas dentales—. El objetivo de dichas legislaciones es prevenir o minimizar la diseminación difusa de los productos que contienen mercurio y prevenir el vertido de los desechos de procesos en el medio ambiente, así como limitar las cantidades de desechos que contienen mercurio en el flujo general de desechos domésticos (donde causan emisiones importantes de mercurio y aumentan los costos de tratamiento de los desechos).

### C. Reglamentos para el control de productos que contienen mercurio

759. En un gran número de países del mundo se han establecido medidas reglamentarias que limitan o impiden que una gran variedad de productos que contienen mercurio se comercialicen a escala nacional, prohibiéndose en algunos casos hasta la importación y la exportación.

760. **Baterías.** En la medida en que iban surgiendo nuevas alternativas a su disposición, muchos países han adoptado en los últimos años legislaciones que establecen los niveles permisibles de mercurio en las pilas y acumuladores, prohíben de hecho la utilización de pilas de óxido de mercurio y limitan estrictamente el uso de pilas de tipo botón que contienen mercurio. Estas legislaciones también podrían exigir la recogida por separado de las pilas que contienen mercurio.

761. En Suiza, por ejemplo, la ordenanza sobre sustancias peligrosas para el medio ambiente que se modificó en 1998 y que trata también del caso de las baterías, limita los contenidos de mercurio y cadmio de las baterías vendidas en artículos de cualquier tipo a  $< 0,001\%$  del peso. Las excepciones exigen una aprobación especial. La ordenanza también establece el deber de los consumidores de devolver las baterías usadas y el deber de los comerciantes de aceptar las baterías de todo tipo. Además, el anexo de la ordenanza define la obligación de los fabricantes de pagar una tasa a la organización respectiva cuando comercialicen baterías y artículos que contengan baterías. Esta tasa cubre los costos del tratamiento adecuado de los desechos.

762. En Mauricio las baterías de mercurio ya no pueden seguir utilizándose y han sido sustituidas por baterías de níquel o cadmio. Hace unos años se puso en marcha una campaña nacional para recoger todas las baterías de celdas de mercurio. Sin embargo, existe un problema con el reciclado o la eliminación. Hay un programa permanente de medidas de concienciación para la recogida de las pilas de tipo botón de mercurio hasta que se tome una decisión política acerca de su eliminación segura.

763. Algunos países se han ocupado de la cuestión del mercurio en las baterías a través de medidas voluntarias. Desde enero de 1997, la asociación canadiense de fabricantes de baterías domésticas (*Canadian Household Battery Manufacturers' Association*) no permite que se añada mercurio a las baterías domésticas alcalinas, de zinc-carbón y de zinc-cloro. El único tipo importante de batería que contiene mercurio disponible en Canadá son las baterías de óxido de mercurio.

764. **Cosméticos.** También existe legislación que limita o prohíbe el mercurio en los productos cosméticos. Un ejemplo de ello es la Directiva 76/768/CEE de la Comunidad Europea (y sus enmiendas 2000/6/CE y 2000/11/CE) sobre la aproximación de las leyes de los Estados miembros en relación con los productos cosméticos. Esta Directiva estipula que el mercurio y sus compuestos no pueden formar parte de los ingredientes de los cosméticos, como los jabones, lociones, champús, productos para aclarar la piel, etc. (se exceptúan las sales de fenilmercurio para la conservación de maquillaje para los ojos y los productos para retirar el maquillaje de los ojos en concentraciones no superiores a 0,007% de peso por peso).

765. En Camerún, una orden interministerial prohíbe la importación, comercialización y uso de productos cosméticos que contengan más de 2% de mercurio. Debido a esta orden se han prohibido doce tipos de jabones y quince cremas.

766. **Amalgamas dentales.** Algunos países han tomado medidas para reducir e incluso eliminar el uso del mercurio en el sector dental. Además de utilizar los separadores de amalgama para reducir sustancialmente la cantidad de vertidos de mercurio en las aguas residuales de las clínicas dentales (en combinación con servicios adecuados para mantener la eficacia de estos sistemas), algunos países también fomentan la sustitución de los empastes de amalgama de mercurio, sobre todo en grupos de población vulnerables, como las mujeres embarazadas, los niños y las personas con funciones renales dañadas.

767. Dinamarca y Suecia están, quizás, entre los países que han ido más lejos en su intento por eliminar el uso de la amalgama de mercurio. El objetivo general del Gobierno sueco de eliminar gradualmente el mercurio comprende también las amalgamas dentales. En Suecia el consumo de mercurio para usos dentales ha disminuido significativamente tras una decisión política que tomó el Parlamento en 1994 para eliminar paulatinamente el uso de las amalgamas dentales. Hasta ahora las amalgamas dentales estaban sujetas principalmente a medidas de eliminación voluntarias. En Dinamarca las amalgamas dentales se permiten únicamente en las muelas, cuando el empaste está desgastado, pero el Gobierno está dispuesto a eliminar los demás usos de la amalgama dental, siempre que el Consejo Nacional de la Salud se sienta seguro de que las alternativas que no utilizan mercurio demuestren que pueden sustituir plenamente las amalgamas de mercurio. Noruega está elaborando actualmente una directiva sobre el uso de materiales para los empastes dentales, que inducirá a los dentistas a reducir cuanto sea posible el uso de amalgamas. Se espera que la directiva entre en vigor el 1 de enero de 2003.

768. En Nueva Zelanda se ha adoptado una “Directiva clínica para el control de desechos de amalgamas dentales y vertidos de aguas residuales”, que describe un código de práctica sobre el uso, almacenamiento, recogida y eliminación del mercurio en los consultorios dentales de Nueva Zelanda. La directiva recomienda que los restos de amalgamas deberían recogerse, almacenarse y enviarse a reciclar o a eliminar en un vertedero homologado cuando no sea posible recoger estos restos para reciclar. Los restos de amalgama deberían almacenarse bajo el agua, en recipientes herméticos, para reducir los niveles de los vapores de mercurio. Asimismo, los restos de amalgama y los desechos de amalgama en partículas contaminados no deberían eliminarse entre los desechos médicos destinados a la incineración. Los consultorios dentales deberían utilizar sistemas para reducir los vertidos de amalgama en las aguas residuales; en las regiones donde las autoridades locales exigen reducciones en los vertidos totales de mercurio en las aguas residuales, deberían instalarse separadores de amalgama dotados de servicios de mantenimiento apropiados con el fin de garantizar la eficacia de estos sistemas. Además, el Ministerio de Salud encargó un amplio análisis de las amalgamas dentales y de la salud humana a principios de 1997 y llegó a la conclusión de que no habían nuevas pruebas científicas que indicaran problemas para la salud pública actual o futura asociados con el uso de amalgamas en los empastes dentales. El Ministerio ha emitido avisos preventivos para los dentistas y las mujeres embarazadas y aconseja que se siga utilizando las amalgamas pero con conocimiento de causa y consentimiento de los pacientes; también recomienda a los dentistas que no utilicen ni retiren material de empaste dental en mujeres embarazadas, cuando sea razonable desde el punto de vista clínico.

769. **Equipo eléctrico.** En la Comunidad Europea se discute actualmente en el Consejo de Europa y en el Parlamento una propuesta de nueva directiva para restringir el uso de determinadas sustancias peligrosas en los equipos eléctricos y electrónicos que contienen mercurio. La directiva propuesta exige la sustitución del mercurio en los equipos eléctricos y electrónicos para el año 2008. En la propuesta se incluyen los interruptores y otros dispositivos de control eléctricos, mientras que las lámparas fluorescentes dentro de ciertos límites (lámparas con 10 mg de mercurio) y otras lámparas que contienen mercurio están exentas. En Suecia no se pueden fabricar ni vender desde 1993 instrumentos de control o de medida ni componentes eléctricos y electrónicos que contengan mercurio.

770. **Lámparas.** Asimismo, en relación con las lámparas que contienen mercurio, existen iniciativas nacionales para reducir la cantidad de mercurio que se utiliza en tales productos, para reciclar el mercurio de los productos usados y encontrar sustitutos aceptables del mercurio para estos productos. Véase la sección 8.2 sobre la sustitución.

771. En Trinidad y Tobago se están sustituyendo algunos dispositivos que contienen mercurio. Actualmente un importante fabricante de lámparas está produciendo lámparas fluorescentes de bajo contenido en mercurio (3 mg de mercurio por lámpara). Estas lámparas, una vez gastadas, se consideran en Estados Unidos como desechos no peligrosos y pueden eliminarse en los vertederos municipales. Las lámparas están disponibles en Trinidad y Tobago y su utilización es un medio de controlar el mercurio.

772. La norma pancanadiense sobre lámparas que contienen mercurio adopta una actitud preventiva frente a la contaminación mediante la reducción del contenido de mercurio de las lámparas que se venden en Canadá. La norma prevé una reducción del 70% en 2005 con respecto a las cifras del año 1990 y del 80% en el año 2010 en el contenido promedio de mercurio de todas las lámparas que contienen mercurio en Canadá. El contenido promedio de mercurio en las lámparas fluorescentes ha pasado de 48,2 mg en 1985 a 27 mg en 1995 y el objetivo de la industria es reducir el contenido de mercurio hasta 15 mg.

773. Bielorrusia informa que hay tres organizaciones que trabajan para que las lámparas usadas que contienen mercurio resulten inocuas y una cuarta que también las convierte en inocuas y retira el mercurio de los desechos. La capacidad total de todas las organizaciones es de unos 3,5 millones de lámparas anuales y 10 toneladas métricas de desechos que contienen mercurio. Cada año se desechan en Bielorrusia alrededor de 1,2 millones de lámparas que contienen mercurio.

774. Suiza informa que todavía se siguen empleando de manera significativa las lámparas fluorescentes que contienen mercurio, aunque también hay un aumento de la tasa de reciclado. La organización suiza que recicla los metales pesados se especializa en las baterías y en otros desechos que



contienen mercurio. Entre 1999 y mediados de 2001 se hizo cargo de un promedio anual de 154 toneladas métricas de desechos que contenían mercurio, de los que ~32 toneladas métricas fueron lámparas fluorescentes rotas.

775. En Dinamarca los productos que contienen mercurio en general están prohibidos, aunque las fuentes de iluminación especiales (tubos fluorescentes, incluidas las bombillas de bajo consumo, para aparatos de análisis y operaciones gráficas) están permitidas hasta nueva orden, dado que todavía no hay sustitutos satisfactorios.

776. **Embalajes y desechos de embalajes.** Algunos países han establecido en los últimos años límites de contenido de algunos metales pesados —entre ellos el mercurio— en el material de embalaje con el fin de reducir el volumen de mercurio en el flujo de desechos. La directiva de la Unión Europea sobre embalaje va dirigida, entre otras cosas, a fomentar el reciclado y la recuperación de energía de los materiales de embalaje y a limitar el flujo de metales pesados hacia el tratamiento de desechos con las consiguientes liberaciones ambientales. La directiva establece límites en las concentraciones de mercurio permitidas en forma de impurezas en los materiales de embalaje. Para mayor información, véase el apartado dedicado a la Comunidad Europea en la sección 9.2.4.

777. **Pinturas y pigmentos.** El mercurio se utilizaba antes ampliamente como biocida en las pinturas, pero este uso se ha reducido sustancialmente o eliminado en un gran número de países. Por ejemplo, Mauricio informa que el mercurio ya no se emplea en las pinturas. En Trinidad y Tobago el mercurio se empleaba en las pinturas como fungicida, pero actualmente ha sido sustituido por otros biocidas.

778. En Costa Rica el reglamento sobre el contenido de plomo y mercurio de las pinturas establece un límite máximo de mercurio de 0,005%. Asimismo, Tailandia informa que menos del 25% de las fábricas del país siguen utilizando aún mercurio como aditivo en el proceso y en cantidades no superiores al 0,5% del peso total. Algunas industrias de pinturas de Tailandia no utilizan el mercurio en sus procesos desde 1991 y cuentan con una homologación “ecológica”.

779. **Plaguicidas.** La venta y el uso de plaguicidas que contienen mercurio para proteger las plantas y desinfectar semillas se han restringido de manera estricta o se han prohibido o interrumpido en un gran número de países del mundo, aunque ciertos países permiten determinados usos. Lesotho ha informado que dos plaguicidas a base de mercurio —utilizados como desinfectante de las papas y como desinfectante de semillas para las enfermedades transmitidas por las semillas en los cereales— se han dejado de fabricar. En Colombia se ha anulado el registro de fungicidas con compuestos de mercurio para usos agrícolas. Actualmente no existe ningún tipo de registro para ningún plaguicida que contenga mercurio.

780. En Australia se registran dos productos que contienen mercurio, que se utilizan en la caña de azúcar y con los caballos. Un fungicida líquido que contiene 120 g/l de mercurio en forma de cloruro metoxietilmercúrico se emplea para controlar la enfermedad de la piña en criaderos de caña de azúcar, que se desinfectan o se vaporizan con una disolución antes de plantarse. El otro producto, destinado a los caballos, contiene 3 g/l de cloruro de mercurio y se emplea tópicamente para las heridas en las patas, dolores y problemas musculoesqueléticos.

781. **Termómetros.** Los termómetros que contienen mercurio son un producto que conocen todos los consumidores del mundo. En Suecia está prohibida la importación, fabricación profesional y venta de termómetros clínicos con mercurio desde el 1 de enero de 1992. La fabricación profesional, la importación y la venta de termómetros, interruptores de nivel, interruptores de presión, termostatos, relés, contactos eléctricos y otros instrumentos de medida están prohibidas desde 1993. Sigue habiendo algunas excepciones, principalmente para las piezas de repuesto, aunque se ha establecido un calendario de eliminación para cada excepción. Además, con el fin de fomentar la recogida de los termómetros de mercurio, se han utilizado incentivos económicos para persuadir a los ciudadanos a entregar sus termómetros de mercurio. En Dinamarca está prohibida, en general, la venta de termómetros que contienen mercurio. La única excepción a esta prohibición son principalmente termómetros aprobados por la Unión Europea.

782. **Termostatos.** La Corporación de Reciclado de Termostatos (*Thermostat Recycling Corporation, TRC*), entidad financiada por la industria, inició en 1997, como medida voluntaria, un programa de reciclado de los termostatos con interruptores de mercurio en nueve estados de Estados Unidos, posteriormente ampliado a 48 estados. En 2001 el programa permitió recoger 48.215 termostatos y 402 libras de mercurio. Desde que se iniciara el programa, se han recogido más de 120.000 termostatos y 1.000 libras de mercurio.

783. **Vehículos.** La Directiva 2000/53/CE de la Comunidad Europea del 18 de septiembre de 2000 sobre los vehículos que ya no están en condiciones de circular establece medidas destinadas a prevenir los desechos procedentes de vehículos y a fomentar su reutilización, reciclado y otras formas de recuperación de los vehículos que ya no están en condiciones de circular y de sus componentes con el fin de reducir la eliminación de desechos y mejorar la prestación desde el punto de vista ambiental de todos los operadores económicos que intervienen en el ciclo de vida de los vehículos. Con arreglo al artículo 4 de la Directiva, el mercurio se restringe en los materiales y componentes de los vehículos. Los materiales y componentes que se comercialicen después del 1 de julio de 2003 no deberán contener mercurio.

784. En Estados Unidos el uso de aplicaciones para las luces de los vehículos que contienen mercurio está siendo eliminado gradualmente mediante iniciativas voluntarias establecidas por la industria de fabricación de automóviles. Para mayor información, véase el apartado dedicados a Estados Unidos en la sección 9.2.4.

785. **Productos farmacéuticos, vacunas.** El tiomersal (también conocido como timerisol, timerosal o mercurotiolato) es un compuesto de mercurio que se emplea en cantidades pequeñísimas para evitar que las bacterias y otros organismos contaminen las vacunas, sobre todo en frascos multidosis abiertos. Con arreglo a la OMS, ninguna de las vacunas “vivas”, ni siquiera la del sarampión, MMR (sarampión, paperas y rubéola), polio oral, fiebre amarilla y BCG, contiene tiomersal. Muchas de las otras vacunas en frascos de una sola dosis tampoco contienen tiomersal. Sin embargo, las fórmulas multidosis de la vacuna triple (difteria, tétanos y tos ferina), difteria y toxoide tetánico (DT y Td) y toxoide tetánico (TT) y algunas vacunas para la hepatitis B del mercado internacional contienen tiomersal. Según la OMS, hay otros productos químicos, como el 2-fenoxietanol, que se emplean como conservantes de vacunas, aunque el tiomersal es actualmente la mejor alternativa (WHO, 2001) (para mayor información, consúltese el sitio web <http://www.who.int/vaccines-surveillance/ISPP/hotQAtiomersal.shtml>).

786. Sólo un país ha facilitado información en relación con las vacunas que contienen mercurio. En Estados Unidos, conforme a la ley de modernización de la administración de fármacos y alimentos (*Food and Drug Administration Modernization Act*) de 1997, la *FDA* debe evaluar el riesgo de todos los alimentos y fármacos que contengan mercurio. Por ello, la *FDA* solicitó a los fabricantes de vacunas que dieran información sobre el contenido de timerisol de las vacunas. Con arreglo a esta información, el Servicio de Salud Pública (*Public Health Service*), la Academia de Pediatría de Estados Unidos (*American Academy of Pediatrics*) y los fabricantes de vacunas acordaron que las vacunas que contenían timerisol tenían que retirarse lo antes posible. Se ha pedido a los fabricantes que se comprometan claramente a eliminar el mercurio de las vacunas y la *FDA* efectuará exámenes acelerados de las revisiones para las solicitudes de licencia de un producto.

787. Con arreglo a la oficina de Seguridad de la Inmunización de la OMS, la OMS sigue aconsejando la utilización de vacunas que contienen tiomersal. Estas vacunas se han utilizado de manera segura durante décadas en todo el mundo y han ayudado a salvar muchos millones de vidas de niños. Además, la OMS insiste en que las nuevas recomendaciones de Estados Unidos en relación con las vacunas que contienen tiomersal se basaban en las evaluaciones de los riesgos y de las ventajas realizadas en Estados Unidos y, por lo tanto, hay que ser precavido a la hora de generalizar estas recomendaciones a otros países. Los niveles potenciales de exposición al tiomersal, y a los riesgos para la salud, difieren en los distintos países según el calendario de inmunización recomendado y las vacunas concretas que se emplean en cada país (WHO, 2001).

788. **Otros productos.** Algunos países también tienen reglamentos que establecen determinados aspectos de la seguridad del usuario para los consumidores privados, por ejemplo, en el campo de los juguetes, tejidos, determinadas preparaciones químicas, etc. Por ejemplo, en Canadá la cantidad de mercurio que se permite en un producto de consumo se encuentra bajo la jurisdicción de la ley sobre productos peligrosos (*Hazardous Products Act*) del Ministerio de Salud de Canadá. La venta, la publicidad o la importación de juguetes, equipos y otros productos en Canadá están prohibidas si éstos pueden estar en contacto con niños y tienen un revestimiento decorativo o protector que contenga cualquier compuesto de mercurio.

#### **D. Otras normas y programas**

789. **Higiene y seguridad en el trabajo.** Algunos países también han aplicado medidas para garantizar la higiene y la seguridad ocupacionales de los trabajadores y reglamentar las exposiciones al mercurio en el lugar del trabajo, a menudo mediante la adopción de los llamados límites de exposición admisibles. Estos límites varían de un país a otro. En el apéndice anteriormente mencionado pueden encontrarse ejemplos al respecto.

790. **Exigencias de información y presentación de datos.** Algunos países han elaborado sistemas de recogida y difusión de datos sobre liberaciones ambientales y transferencias de productos químicos tóxicos desde las instalaciones industriales, sistemas a menudo denominados “registros de emisiones y transferencias de contaminantes” (RETC). Los RETC han demostrado su utilidad no sólo para tener constancia de la interacción de las instalaciones industriales y de la eficacia de los programas y políticas gubernamentales que se aplican, sino también para estimular iniciativas voluntarias de las compañías para reducir sus emisiones y transferencias de productos químicos tóxicos.

791. Un ejemplo de dichos sistemas es el inventario de liberación de sustancias tóxicas (*Toxics Release Inventory, TRI*) de Estados Unidos. Desde el año de declaración 2000, el umbral de presentación de informes sobre el mercurio y sus compuestos se ha bajado a 5 kg anuales (el umbral previo era de 4.500 kg). Con esta medida, Estados Unidos podrá obtener un panorama mucho más completo de las cantidades de mercurio y de sus compuestos que se liberan en el aire, agua, tierra, se transfieren para eliminación o reciclado, o se reciclan in situ. Canadá también cuenta con un equivalente del RETC, el inventario nacional de emisiones de contaminantes.

792. El tercer ejemplo lo constituye el inventario nacional de contaminantes (*National Pollutant Inventory, NPI*) de Australia, que recoge información basada en técnicas de cálculo sobre los tipos y las cantidades de ciertos productos químicos que se emiten en el medio ambiente. El inventario da acceso a la comunidad, a la industria y a los gobiernos locales a información coherente y fiable sobre las emisiones de contaminantes en Australia. La presentación de datos es obligatoria si una industria sobrepasa los umbrales de usos diversos, pero para los años 1998-1999 y 1999-2000 era voluntaria y, desde el 2000-2001 en adelante, será obligatoria. Las medidas de imposición son responsabilidad del estado o territorio australiano correspondiente.

793. **Acuerdos internacionales y regionales.** Algunos países también participan en convenios y acuerdos internacionales y regionales, que podría establecer objetivos complementarios de reducción con respecto a las emisiones de mercurio. Estos convenios y acuerdos relativos al mercurio se describen en la sección 9.3.1.

### **9.2.4 Ejemplos de iniciativas globales nacionales para reducir o eliminar los usos y liberaciones de mercurio**

794. La sección anterior muestra claramente que el mercurio constituye un problema al que se dan respuestas nacionales mediante un gran número de medidas diferentes, a menudo destinadas a determinados usos o emisiones y en las que frecuentemente intervienen distintos ministerios e instituciones. Sin embargo, hay algunos ejemplos de planteamientos coordinados para obtener un objetivo determinado de reducción o eliminación de usos y emisiones del mercurio y en los que interviene una amplia reglamentación nacional sobre la utilización y manipulación del mercurio en la sociedad. A continuación describimos algunos de los métodos nacionales que se están aplicando en la

Comunidad Europea, Suecia y Estados Unidos e indicamos las reducciones en el consumo y uso del mercurio que se han conseguido gracias a estas iniciativas. La información de estas secciones procede principalmente de las presentaciones nacionales (Comunidad Europea - sub40gov; Suecia – sub28gov, Estados Unidos – sub23gov). El resumen para Estados Unidos se ha completado con información de la *US EPA - GLNPO* (1999).

## COMUNIDAD EUROPEA

795. La legislación de la Comunidad Europea es interesante debido a que debe aplicarse en sus 15 países miembros, que representan una parte importante del mercurio que se consume en Europa.

796. **Fuentes puntuales de emisión en el agua.** Existen diversas directivas comunitarias que, conjuntamente, limitan la contaminación con mercurio de las aguas superficiales interiores, territoriales y costeras internas, y establecen normas para toda la Comunidad relativas a los vertidos de mercurio para un número considerable de sectores industriales. Asimismo se ha aprobado la nueva Directiva Marco del Agua, que establece una estrategia común de la Unión Europea para armonizar las normas y controles sobre la calidad del agua. El mercurio es una de las “sustancias peligrosas prioritarias” que cubre dicha directiva y sus liberaciones en medios acuáticos deberán eliminarse en 20 años. Las medidas necesarias se elaborarán a finales de 2003.

797. **Incineración de desechos.** También existe una directiva comunitaria sobre la incineración de desechos. Su objetivo es prevenir o limitar todo lo posible los efectos negativos en el medio ambiente, principalmente la contaminación mediante emisiones en la atmósfera, suelo, aguas superficiales y subterráneas, y los riesgos posteriores para la salud humana debidos a la incineración y coincineración de desechos. La directiva establece los valores límite de las emisiones en la atmósfera para las plantas de incineración y coincineración de desechos y para los vertidos de aguas residuales procedentes de la depuración de gases de escape. Las disposiciones de la directiva se aplican a las nuevas instalaciones desde el 28 de diciembre de 2002 y a las instalaciones ya existentes desde el 28 de diciembre de 2005.

798. **Prevención y control integrados de la contaminación.** Una directiva importante sobre la pertinencia de los esfuerzos de la Comunidad Europea para reducir la contaminación con mercurio en la Comunidad es la Directiva 96/61/CE del Consejo de la Comunidad Europea relativa a la prevención y control integrados de la contaminación. El objetivo es lograr prevenir y controlar de manera integrada la contaminación procedente de actividades como las de las industrias energéticas, la producción y procesamiento de metales, las industrias de los minerales, las químicas, la gestión de desechos y otras actividades, como la ganadería intensiva, las industrias de pulpa y papel y las de curtidos. La Directiva exige que dichas industrias utilicen las mejores técnicas disponibles para prevenir o, cuando no sea factible, reducir la contaminación del aire, agua y tierras, incluyendo en dichas técnicas las medidas relativas a los desechos, con el fin de lograr un nivel elevado de protección del medio ambiente en su conjunto. La Directiva abarca el mercurio y sus compuestos. Sus exigencias se aplican a las nuevas instalaciones y a las que han cambiado sustancialmente a 30 de octubre de 1999; también se aplican a las instalaciones existentes a partir del 30 de octubre de 2007. Con el fin de aplicar la Directiva se han elaborado documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para diferentes sectores.

799. **Producción de cloro-álcali.** También existe un documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la producción de cloro y soda cáustica. Con arreglo a este documento, las mejores técnicas disponibles para las plantas de celdas de mercurio comprenden la conversión a la tecnología de celdas de membrana. Durante el resto de la existencia de las plantas de celdas de mercurio deberían tomarse todas las medidas posibles para proteger el medio ambiente en su conjunto. Los productores de cloro-álcali de la Comunidad Europea han manifestado su apoyo a las medidas que establece este documento de referencia. Además, los productores han ofrecido a las autoridades pertinentes compromisos<sup>29</sup> voluntarios hechos con el fin de facilitar la transición a partir de los procesos

---

<sup>29</sup> Compromisos voluntarios hechos por los productores de cloro-álcali (celdas de mercurio) de Europa occidental (“Voluntary Commitments by each Western European Chlor-Alkali Producer (Mercury cells)”), presentados al OSPAR (Convenio Oslo-París) en 1999 y fortalecidos posteriormente. Aunque se presentaron en el ámbito de las

de fabricación de cloro-álcali basados en el mercurio. Los productores renovaron su primer compromiso de 1995 de no utilizar tecnología basada en el mercurio para las nuevas plantas, de no transferir equipos sobrantes a terceros para que lo utilicen, de reducir aún más las emisiones con arreglo a un calendario cuantificado, de asegurar transparencia en la presentación de datos planta por planta, de cerrar o convertir las plantas existentes cuando lleguen al término de su vida económica y de asegurar una gestión ambiental racional del mercurio metálico a partir de celdas de clausura.

800. **Baterías.** La Comunidad cuenta con directivas generales que reglamentan determinados productos que contienen mercurio. La directiva sobre pilas y acumuladores (Directiva 91/157/CEE) reglamenta las cantidades de mercurio permisibles en las baterías y exige la recogida por separado de las baterías que contienen mercurio y otros metales pesados. Los límites de contenido de mercurio se hicieron más estrictos mediante una enmienda a la directiva en el año 1998 (Directiva 98/101/CE) que exige que los Estados miembros prohíban desde el 1 de enero de 2000, a más tardar, la comercialización de pilas y acumuladores que contengan más de 0,0005% de mercurio en peso, incluyendo en ellos las pilas y acumuladores de los aparatos electrodomésticos. Están exentas de esta prohibición las pilas de tipo botón y las baterías compuestas por pilas de tipo botón cuyo contenido de mercurio no sea superior a 2% en peso.

801. **Algunas sustancias y preparaciones peligrosas.** La Directiva 76/769/CEE sobre la aproximación de las leyes, reglamentos y disposiciones administrativas de los Estados miembros en relación con las restricciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparaciones peligrosas prohíbe el uso de sustancias que contengan mercurio en las pinturas marinas antiincrustantes, productos conservantes de la madera, tratamientos textiles y tratamiento de aguas industriales. Esta directiva sobre “uso y comercialización” ofrece un marco y un procedimiento legislativo simplificado a través del cual la Unión Europea puede prohibir o restringir los productos químicos peligrosos añadiendo nuevas sustancias y controles en un anexo de la directiva. Varias enmiendas a la directiva han añadido nuevos productos químicos y preparaciones.

802. **Cosméticos.** Con arreglo a la Directiva 76/768/CEE (y a sus enmiendas 2000/6/CE y 2000/11/CE) sobre la aproximación de las leyes de los Estados miembros relativas a los productos cosméticos, el mercurio y sus compuestos no pueden formar parte de los ingredientes de los cosméticos, incluyendo en éstos los jabones, lociones, champús, productos para aclarar la piel, etc. (se exceptúan las sales de fenilmercurio para la conservación del maquillaje para los ojos y los productos para retirar el maquillaje de los ojos en concentraciones no superiores a 0,007% en peso) que se comercializan en la Comunidad Europea.

803. **Embalajes y desechos de embalajes.** La Directiva 94/62/CE del 20 de diciembre de 1994 sobre embalajes y desechos de embalajes pretende armonizar las medidas que se han tomado en los países miembros en relación con la gestión de los embalajes y de los desechos de embalajes con el fin de prevenir cualquier efecto de éstos en el medio ambiente de los países miembros o de terceros, asegurar el funcionamiento del mercado interno y evitar obstáculos para el comercio dentro de la Comunidad. La Directiva establece medidas destinadas, en primer lugar, a prevenir la producción de desechos de embalajes. Otros principios fundamentales de la directiva son la reutilización y el reciclado de los embalajes y otras formas de recuperación de los desechos de embalajes para, de esta manera, reducir la eliminación definitiva de tales desechos. El artículo 10 de la Directiva establece un plan de reducción específico para los metales pesados que se encuentran en los embalajes; la suma de los niveles de concentración del plomo, cadmio, mercurio y cromo hexavalente que hay en los embalajes y componentes de los embalajes no debería superar los niveles específicos establecidos dentro de un periodo de 5 años, niveles que empiezan en 600 ppm de peso al 30 de junio de 1998, a más tardar, y que bajan hasta 100 ppm en peso al 30 de junio de 2001, a más tardar.

804. **Plaguicidas.** La Directiva 79/117/CEE y sus enmiendas prohíben la venta y utilización de plaguicidas para proteger plantas hechos con compuestos de mercurio. También se aplica al tratamiento

de las semillas. La Directiva no cubre la exportación de tales preparaciones a países fuera de la Comunidad Europea.

805. **Vehículos.** La Directiva 2000/53/CE de la Comunidad Europea sobre vehículos que ya no están en condiciones de circular fue adoptada el 18 de septiembre de 2000. La Directiva establece medidas destinadas a prevenir los desechos de vehículos y a fomentar la reutilización, reciclado y otras formas de recuperación de los vehículos que ya no están en condiciones de circular y de sus componentes con el fin de reducir la eliminación de desechos y mejorar la prestación desde el punto de vista ambiental de todos los operadores económicos que intervienen en el ciclo de vida de los vehículos. Con arreglo al artículo 4 de la Directiva, el mercurio, entre otros, se restringe en los materiales y componentes de los vehículos. Los materiales y componentes que se comercialicen después del 1 de julio de 2003 no deberán contener mercurio.

### **Medidas e iniciativas adicionales en estudio en la Comunidad Europea**

806. Dentro de su Cuarto Programa Marco (1994-1998), la Comisión Europea emprendió trabajos de evaluación de la idoneidad de la política sobre metales pesados de la Unión Europea de cara a los riesgos humanos y ambientales, teniendo en cuenta especialmente a terceros países, indirectamente afectados por la política de la Unión Europea, denominada proyecto EUPHEMET. El proyecto también propone una estrategia modificada en toda la Unión Europea, así como políticas apropiadas y/o instituciones internacionales y presta atención especialmente a la realización del pleno potencial de las instituciones internacionales existentes. Tras la presentación del informe a la Comisión Europea, éste se transformó en un manual para una política y una reglamentación sostenibles sobre los metales pesados (*Handbook for sustainable heavy metals policy and regulation*), publicado en diciembre de 2001 por *Kluwer Academic Publishers* en su serie de libros *Environment & Policy*. El manual también comprende estudios de casos sobre el mercurio, plomo y cadmio.

807. La Comisión Europea emitió recientemente un documento de posición sobre la contaminación atmosférica causada por el mercurio (*Ambient air pollution by mercury (Hg) - Position Paper*). Este informe técnico fue preparado por algunos expertos nombrados por Estados miembros en el marco de un grupo de trabajo sobre el mercurio. El documento responde a la exigencia de la Directiva del Consejo sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente, mejor conocida como Directiva marco, y está destinado a apoyar la preparación de Directivas de Desarrollo (DD). El informe se basa en los conocimientos más recientes de fuentes europeas y en los principales procesos o mecanismos que influyen en el ciclo del mercurio en Europa y en el medio ambiente mundial, y debiera considerarse como una instantánea de los conocimientos actuales. El informe aconseja la adopción de una estrategia a largo plazo para reducir los niveles de metilmercurio en los peces de las aguas europeas. Dentro de esta estrategia, el grupo de trabajo propone un plan de acción concreto que comprende reducciones en las emisiones atmosféricas de mercurio en los ecosistemas terrestres y acuáticos de Europa, que incluya reducciones de las emisiones de mercurio procedentes de las principales fuentes antropógenas y una eliminación completa del uso del mercurio en los bienes más importantes.

808. **Productos.** La Comisión Europea estudia actualmente otras medidas reglamentarias potenciales con respecto a los productos que contienen mercurio, con el fin de preparar posibles enmiendas a la directiva de comercialización y uso (Directiva 76/769/CEE). La Comisión estudia, entre otros, los siguientes productos que contienen mercurio: pilas de tipo botón, instrumentos industriales y de control, lámparas y termómetros (OSPAR, 2000c). La Comisión también está discutiendo si se justifica una sustitución completa, teniendo en cuenta la reducción permanente en el uso del mercurio que se está produciendo en la Comunidad Europea frente a las importantes emisiones de mercurio procedentes de fuentes que no son productos, como la combustión del carbón (OSPAR, 2001).

809. **Equipos eléctricos.** El Consejo y el Parlamento Europeo discuten en estos momentos una propuesta de nueva directiva (RoHS COM, 2000, final) sobre la restricción del uso de determinadas sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos, que incluyen el mercurio. La directiva propuesta exige la sustitución del mercurio en los equipos eléctricos y electrónicos para el año 2008. Para tener en cuenta las nuevas pruebas científicas, se prevé revisar las exigencias de sustitución hacia el año 2004. La lista de excepciones podría, por lo tanto, modificarse con el fin de tener en cuenta las

novedades técnicas futuras. En la propuesta se incluyen los interruptores y otros dispositivos de control eléctricos, mientras que las lámparas fluorescentes dentro de ciertos límites (lámparas con 10 mg de mercurio) y determinadas lámparas que contienen mercurio están exentas.

## SUECIA

810. La reducción del mercurio ha sido una cuestión de alta prioridad en Suecia desde la década de 1960. A principios de la década de 1990 se llegó a la conclusión de que la reducción sustancial del mercurio lograda en las fuentes puntuales no sería suficiente para reducir la carga ambiental por debajo de los niveles críticos. Se calculó que el contenido de mercurio en los peces de unos 40.000 lagos (la mitad de los lagos suecos aproximadamente) era superior al valor límite de 0,5 mg/kg recomendado por la Comisión FAO/OMS del Codex Alimentarius. En el proyecto de ley 1990:91/90 sobre un medio ambiente vivo (*En god livsmiljö*) se propusieron numerosas medidas legislativas y voluntarias con el objetivo final de eliminar totalmente el uso del mercurio. Desde entonces, las medidas se han reaprobado y fortalecido varias veces en diversos proyectos de ley y decisiones parlamentarias.

811. La tabla 9.2 presenta alguna de las principales iniciativas relativas al uso del mercurio que se han adoptado en Suecia tras el objetivo general que se adoptó en 1990 de eliminar totalmente el mercurio. Debe advertirse que Suecia es miembro de la Comunidad Europea desde el 1 de enero de 1995 y tiene que aplicar toda la legislación comunitaria sobre el mercurio, como se explica en la sección dedicada a la Comunidad Europea. Sin embargo, algunas de las medidas que ha tomado Suecia van más allá de la legislación comunitaria.

Tabla 9.2 Principales iniciativas sobre el uso del mercurio en Suecia, según informa Suecia.

Año	Tipo de liberación/uso	Principales iniciativas sobre el uso del mercurio en Suecia
1979	Liberaciones dentales	En Suecia existe desde 1979 un acuerdo voluntario que exige que todas las clínicas dentales estén equipadas con separadores de amalgama.
1979	Tratamientos de semillas	Se prohíbe el uso de tratamientos de semillas que contengan mercurio (SFS 1979:349).
1985	Biocidas	No se aprueba la importación, venta, transferencia y uso del mercurio y de los compuestos de mercurio como biocidas (SFS 1985:836).
1990	Eliminación gradual	El proyecto de ley 1990:91/90 propone numerosas medidas legislativas y voluntarias con el objetivo final de eliminar totalmente el uso del mercurio.
1991	Amalgamas dentales	El objetivo general de la eliminación del mercurio también incluyó las amalgamas dentales. Ello llevó a una reducción voluntaria de nuevos empastes con amalgamas en los dientes de los niños desde el 30% al 1,5% entre 1991 y 1995. La utilización en los dientes de los adultos disminuyó desde el 32% al 15%. Desde entonces, la venta anual total de mercurio en amalgamas se ha estabilizado. Se espera una disminución mayor del mercurio en los empastes de los niños y adolescentes como medida de precaución para minimizar la exposición de estos grupos al vapor del mercurio metálico. El programa de reembolso de los gastos dentales dejó de aplicarse en 1999 para los empastes con amalgamas, lo cual hace que sea más caro el empleo de amalgamas. A pesar de que para la mayoría de los pacientes es todavía un poco más barato utilizar amalgamas que otros materiales, el cambio en la estructura de precios debería entrañar una reducción adicional en el uso de amalgamas.
1992	Termómetros clínicos	Desde el 1 de enero de 1992 está prohibida la importación, fabricación profesional y venta de termómetros clínicos de mercurio.
1992	Exportación de desechos	Se prohibió la exportación de desechos de mercurio y de productos que contuvieran mercurio.
1993	Termómetros, instrumentos de medida y equipos eléctricos	Desde 1993 están prohibidas la fabricación profesional, importación y venta de termómetros, interruptores de nivel, interruptores de presión, termostatos, relés, contactos eléctricos y otros instrumentos de medida (ordenanza 1991:1290). Todavía hay algunas excepciones, principalmente para las piezas de repuesto (ordenanza 1998:944). Existe un calendario de eliminación para cada una de las excepciones (reglamento 1998:8).
1993	Calendario de eliminación	El proyecto de ley 1993/94:163 establece un objetivo de eliminación del mercurio y de los productos que contienen mercurio en el año 2000. Al empezar el nuevo siglo, el mercurio sólo podría venderse en productos vitales y para usos para los que no se conocen alternativas técnicas o aún no se han perfeccionado suficientemente.

Año	Tipo de liberación/uso	Principales iniciativas sobre el uso del mercurio en Suecia
1998	Pilas y baterías	La directiva sobre pilas y acumuladores de la Comunidad Europea, que también se aplica en Suecia, fue modificada en 1998. Las baterías con un contenido de mercurio superior a 0,0005% en peso se definen como peligrosas para el medio ambiente y no deben comercializarse ni incorporarse en aparatos electrodomésticos. Se exceptúan las pilas de tipo botón cuyo contenido de mercurio no es superior al 2% en peso. Las nuevas reglas significan que las pilas de óxido de mercurio ya no pueden venderse. Esas baterías representaban 700 de los 800 kg de mercurio que había en las baterías en 1997. Las nuevas reglas han causado una reducción drástica de las cantidades de mercurio vendidas en baterías; en 1999 se calculaba que la cantidad de mercurio en las baterías vendidas era de unos 100 kg.
1998	Lodos de depuración	En la ordenanza 1998:944 se regulan los contenidos de metales pesados en las aguas residuales en los casos en que los lodos de depuración se vendan o se transfieran para usos agrícolas. El reglamento SNFS 1994:2 (modificado con el SNFS 1998:4) establece el momento y el lugar en que pueden utilizarse los lodos para usos agrícolas así como las cantidades. Actualmente el contenido máximo de mercurio permitido en los lodos es de 2,5 mg/kg (materia seca) y su aplicación máxima es de 1,5 g por hectárea y año.
1998	Exportación de mercurio	Con arreglo a la estricta política sueca sobre el mercurio, desde el 1 de enero de 1999 no puede exportarse el mercurio en metal ni los compuestos ni preparaciones químicas que contengan mercurio (ordenanza 1998:944).
2000	Nuevos productos que contienen mercurio Procesos de producción	El proyecto de ley 2000/01:65 sobre una estrategia química para un medio ambiente no tóxico exige que los nuevos bienes que salgan al mercado no deberían tener mercurio, en la medida de lo posible, desde 2003, a más tardar. Asimismo, el mercurio no debería utilizarse en los procesos de producción a menos que el productor demuestre que sus procesos no dañan la salud humana ni el medio ambiente.

### Medidas e iniciativas adicionales en estudio en Suecia

812. **Industria de cloro-álcali.** En Suecia existen dos plantas de cloro-álcali que siguen utilizando el proceso de amalgama. El proceso de membrana, más favorable al medio ambiente, se utiliza en una planta. Conforme a la decisión 90/3 de OSPAR, el Gobierno sueco ha establecido en varias leyes que el proceso de amalgama debería dejar de utilizarse en 2010. Para estar aún más seguro de que este objetivo se alcanzará en todo el país, el Gobierno sueco está estudiando incluir una prohibición en la ordenanza 1998:944.

813. **Productos de desecho.** Dado que la eliminación de desechos también desempeña un papel en este ámbito, existen sistemas de recogida separada y ya hay programas de recogida de baterías, lámparas fluorescentes, desechos de amalgama, etc. Las baterías recogidas se almacenan a la espera de una decisión sobre tratamiento previo antes de llevarlas a unas instalaciones de almacenamiento final para el mercurio.

814. **Amalgamas dentales.** El objetivo general para una eliminación completa del mercurio también comprende las amalgamas dentales. El consumo de mercurio para usos dentales ha disminuido significativamente tras una decisión política que el Parlamento tomó en 1994 de eliminar el uso de amalgamas dentales. Hasta ahora las amalgamas dentales estaban sujetas principalmente a medidas de eliminación voluntarias. Un acuerdo voluntario de no utilización de los empastes con amalgamas en los dientes de los niños y jóvenes de hasta diecinueve años llevó a la eliminación casi completa. El Gobierno sueco sigue estudiando constantemente otras posibilidades para reducir el uso de las amalgamas dentales.

815. **Productos químicos de laboratorio.** Los productos químicos que contienen mercurio para análisis y reactivos se emplean principalmente en el control ambiental; por ejemplo, el sulfato de mercurio en los análisis de la demanda química de oxígeno (DQO). Las actividades de información no han sido suficientemente eficaces para eliminar este uso concreto. Por ello, el Gobierno sueco está estudiando una enmienda de la ordenanza 1998:944, con arreglo a la cual el uso del mercurio en productos químicos para análisis y reactivos se prohibiría desde el 1 de enero de 2004.

816. **Lámparas.** Actualmente no existe en Suecia ninguna alternativa disponible comercialmente y sin mercurio a las lámparas lineales fluorescentes y lámparas fluorescentes compactas. Para minimizar



los impactos ambientales del uso del mercurio en estos productos, deberían establecerse contenidos máximos de mercurio. Probablemente se introduzca esta reglamentación en la próxima directiva de la Comunidad Europea sobre restricción de sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos.

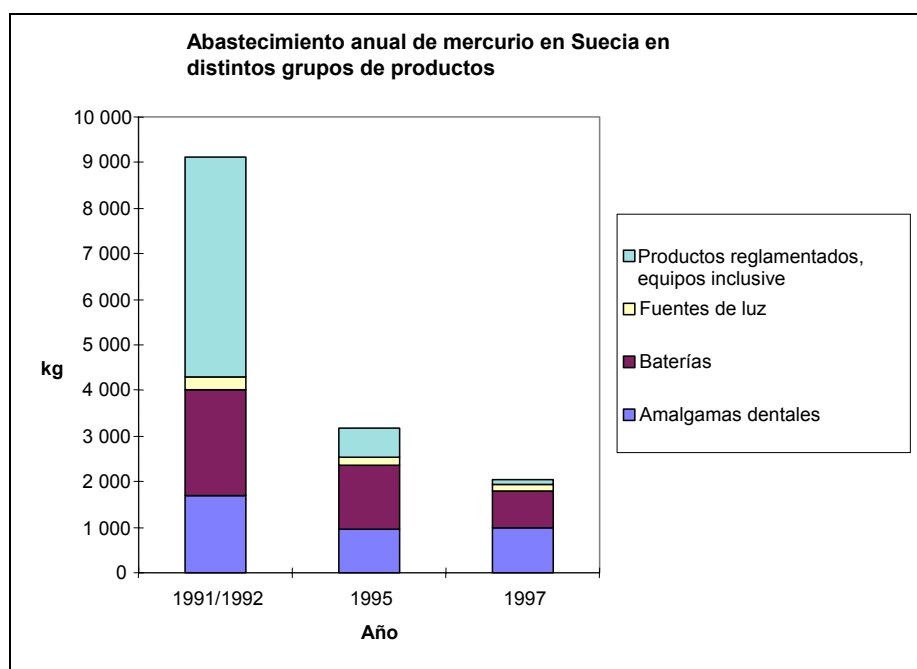
817. **Recogida de productos y bienes usados.** Al darse cuenta de que las liberaciones de mercurio procedentes de productos utilizados u olvidados en “los estantes” continuaría durante muchos años, el Gobierno elaboró un programa de acción para recoger de manera más amplia y eficaz los productos y bienes usados que contienen mercurio. El programa de acción incluía proyectos para la recogida de termómetros clínicos, inventarios y recogida del mercurio en distintos lugares, supresión del mercurio en las escuelas, universidades y colegios, campañas de información y medidas de concienciación. En los proyectos de recolección de termómetros de mercurio, se utilizaron incentivos económicos para invitar a los hogares a entregarlos. Otro proyecto consistió en encontrar el mercurio “técnico” escondido en artículos y productos técnicos en unas 70 industrias. Este trabajo supuso la búsqueda del mercurio con los primeros perros del mundo habituados a detectar ese metal.

818. El programa de acción ha permitido encontrar entre 10 y 11 toneladas métricas de mercurio, de las cuales entre 6 y 7 ya han sido recogidas y entre 3,5 y 4 se han etiquetado para la eliminación correspondiente una vez que hayan dejado de usarse. El Gobierno considera que todavía quedan algunas toneladas de mercurio en la industria (artículos técnicos, mercurio metálico almacenado, etc.), en los hogares (por ejemplo, en termómetros, barómetros antiguos, timbres de puerta, etc.), en agricultura (plaguicidas viejos y almacenados) y en tuberías de las redes de alcantarillado, sobre todo las tuberías procedentes de las antiguas clínicas dentales.

819. **Eliminación definitiva del mercurio.** El mercurio es una sustancia que sigue siendo una amenaza para la salud humana y el medio ambiente de manera permanente y, por ello, no debería reciclarse. A los desechos que contienen mercurio hay que buscarles una solución permanente de manera segura y aceptable para el medio ambiente. En un informe dirigido al Gobierno, la Agencia sueca de Protección Ambiental propuso en 1997 el almacenamiento definitivo de los desechos que contienen mercurio en unas instalaciones profundas excavadas en la roca. Un comité gubernamental presentó recientemente su informe final sobre la forma de eliminar los desechos que contienen más de 0,1% (en peso) de mercurio. El informe propone que, en cinco años, se exija obligatoriamente el almacenamiento permanente en instalaciones en la roca profunda.

### **Reducción del consumo y del uso del mercurio en Suecia**

820. Suecia ha llevado a cabo evaluaciones de la eficacia de la legislación y de la reglamentación sobre los productos que contienen mercurio. Como puede verse en la figura 9.1, el consumo cuantificado de productos que contienen mercurio en 1997 bajó a aproximadamente un cuarto del consumo de 1991-1992. La reducción del consumo está íntimamente relacionada con la mayor utilización de sustitutos del mercurio. En la sección 8.2 se describen posibilidades de sustitución. Debiera advertirse que, además de la legislación, las mejoras en el rendimiento tecnológico han sido probablemente un importante factor que explica la sustitución del mercurio en muchos de sus usos.



*Figura 9.1 Cantidades de mercurio vendidas en Suecia en productos, incluyendo las baterías, fuentes de luz y amalgamas dentales, 1991/92, 1995 y 1997, en kg/año (KEMI, 1998; las cifras originales que se presentan son una gentileza de la Oficina Sueca de Inspección de los Productos Químicos). No se incluyen las ventas de mercurio metálico (para la producción de cloro-álcali, etc.).*

## ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

821. Estados Unidos se viene ocupando activamente desde hace muchos años de los problemas que plantea la exposición al mercurio. Para ello, ha recurrido tanto a las actividades reglamentarias como a los programas voluntarios de reducción. Por ejemplo, ya en 1991 la *US EPA* emprendió el llamado “Programa 33/50”, un programa especial para ayudar a reducir las liberaciones de mercurio y otras 16 sustancias tóxicas en el medio ambiente. El objetivo del programa era alentar a las compañías a que redujeran voluntariamente sus emisiones de algunos o todos estos productos tóxicos en un 33% en el año 1992 y en un 50% en 1995. Como resultado de ello, entre 1988 y 1991 las liberaciones ambientales de mercurio se redujeron en un 38% y las transferencias de mercurio para tratamiento o eliminación en el exterior se redujeron en un 30% (OECD, 1995).

822. Comprender las características y la magnitud de las liberaciones de mercurio es fundamental para elaborar estrategias eficaces de gestión de riesgos. La ley de protección de la calidad del aire, enmendada en 1990, exigía a la *US EPA* que preparara una evaluación de la magnitud de las emisiones de mercurio por fuente en Estados Unidos, los efectos en la salud y en el medio ambiente de las emisiones, y el costo y disponibilidad de las tecnologías de control. El informe de la *US EPA* al Congreso sobre el estudio acerca del mercurio (*US EPA Mercury Study Report to Congress*) se publicó en diciembre de 1997. Dado que los conocimientos científicos sobre el mercurio evolucionan continua y rápidamente, el informe presenta una instantánea de los conocimientos actuales sobre el mercurio en Estados Unidos. Se trata de un informe muy completo que consta de ocho volúmenes.

823. La oficina de investigación y desarrollo (*Office of Research and Development, ORD*) de la *US EPA* publicó en septiembre de 2000 su estrategia para la investigación del mercurio (*Mercury Research Strategy*) con el fin de orientar el programa de investigación sobre el mercurio hasta el año 2005. El documento establece las preguntas científicas clave de mayor importancia para este organismo y describe un programa de investigación para dar respuesta a estas preguntas. El objetivo al plantearse estas preguntas es reducir las dudas científicas que limitan la capacidad de la *US EPA* de evaluar y

gestionar los riesgos del mercurio y del metilmercurio. La estrategia prevé, entre otras cosas, el estudio del transporte atmosférico, transformación y destino del mercurio.

824. Para las cuestiones relativas a la presencia del mercurio a través de diversos medios, la *US EPA* ha creado un grupo de trabajo (*Mercury Task Force*) con el fin de estudiar estrategias para coordinar diversos programas para usar, gestionar y eliminar el mercurio. El grupo está estudiando diversos tipos de opciones dentro de un marco multimedios y está a favor de programas de prevención de la contaminación elementales. El grupo de trabajo estudiará diversos ámbitos, como la evaluación y transferencia de información de los esfuerzos constantes de prevención y control a escala local, nacional e internacional, el estudio de ideas para prevenir la contaminación, como la sustitución e innovación de productos, las opciones de reciclado y eliminación, y la coordinación con la *US EPA* para llevar a cabo programas de reglamentación del mercurio coherentes y coordinarse con otros organismos federales que gestionan el mercurio.

825. La *US EPA* prepara actualmente un plan de acción nacional para el mercurio (*National Action Plan for Mercury*), que se basa en los resultados de su informe al Congreso sobre el estudio acerca del mercurio. El plan de acción resume las principales medidas para evaluar y gestionar los problemas del mercurio en Estados Unidos y para enfrentar la dimensión mundial del mercurio. También ofrece información en relación con las metas de la *US EPA* con respecto al mercurio, sus posiciones sobre numerosas cuestiones relativas al mercurio, sus medidas prioritarias y descripciones breves de las actividades que lleva a cabo en estos momentos y previstas para los próximos años. El plan estará listo probablemente a mediados de 2003.

#### **Medidas permanentes y previstas para reducir la contaminación por mercurio en Estados Unidos**

826. El planteamiento de Estados Unidos para preparar estrategias eficaces de gestión del riesgo del mercurio consta tanto del establecimiento de límites reglamentarios específicos sobre las emisiones como de esfuerzos voluntarios con la industria para reducir el uso del mercurio, ejecutados por diversos organismos federales o estatales. A continuación se resumen los más importantes.

827. **Almacenes de mercurio.** El Gobierno de Estados Unidos sigue manteniendo un suministro de mercurio que forma parte del National Defence Stockpile, creado al final de la Primera Guerra Mundial para mantener reservas adecuadas de materiales que se consideran fundamentales para la defensa nacional. La gestión de este almacén depende del organismo de logística de la defensa (*Defense Logistics Agency, DLA*), dependencia del Departamento de Defensa. La ley de almacenamiento de materiales estratégicos y esenciales (*Strategic and Critical Materials Stockpile Act*) reglamenta el mercurio que la DLA vende del almacén nacional. En julio de 1994 la DLA suspendió las ventas futuras de mercurio a la espera de análisis sobre las consecuencias ambientales. Actualmente se está realizando un enunciado de los impactos ambientales (*Environmental Impact Statement*) para decidir la enajenación del material del almacén y, hasta que se termine, las ventas siguen suspendidas. Entretanto, se ha emprendido un examen completo de las cuatro instalaciones que almacenan mercurio en Estados Unidos y la inspección de todos los frascos que contienen mercurio para almacenarlos de manera adecuada y segura.

828. **Fuentes puntuales de emisión en el agua.** El mercurio forma parte de una lista de contaminantes tóxicos realizada con arreglo a la ley de protección de la calidad del agua (*Clean Water Act*). El reglamento de esta ley especifica límites basados en la tecnología para las concentraciones de mercurio de los efluentes de diferentes industrias y describe las circunstancias en las que los estados pueden exigir límites o requisitos de vigilancia de los efluentes más rigurosos que las normas basadas en la tecnología. Los estados deben establecer normas de calidad del agua para los contaminantes, incluido el mercurio. La ley se basa en un sistema de permisos, el sistema nacional de eliminación de los vertidos de contaminantes (*National Pollutant Discharge Elimination System*), para reglamentar los vertidos directos en las aguas de superficie. Las instalaciones tienen asignados unos límites específicos de vertido de mercurio y/o tienen la obligación de supervisar sus vertidos de mercurio. Las instalaciones tienen que dar a conocer los niveles reales de vertido en los informes de vigilancia de vertidos (*Discharge Monitoring Reports*), que sirven de base para establecer la conformidad. El sistema

establecido cubre un gran número de fuentes puntuales industriales, como las plantas de cloro-álcali, las centrales eléctricas de vapor, las fábricas de baterías, etc.

829. **Fuentes puntuales de emisión en el aire.** Con arreglo a la ley de protección de la calidad del aire (*Clean Air Act*), el mercurio y los compuestos de mercurio se consideran contaminantes atmosféricos peligrosos. La *US EPA* creó las normas nacionales de contaminantes atmosféricos peligrosos (*National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants, NESHAP*) para las emisiones de mercurio, basándose en los riesgos según la versión de la ley de protección de la calidad del aire anterior a 1990. Conforme a las enmiendas a esta ley de 1990, la *US EPA* reglamenta las emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos por categorías de fuente, utilizando para ello las normas de tecnología del máximo control alcanzable (*Maximum Achievable Control Technology, MACT*) para cada "fuente principal" en cualquier categoría de fuentes enumeradas. Una norma *MACT* se define con arreglo a un análisis de la tecnología de los controles vigentes entre las fuentes mejor controladas en una categoría dada de fuentes.

830. **Industria del cloro-álcali.** Las emisiones procedentes de las instalaciones que procesan el mineral de mercurio y de las plantas de cloro-álcali con celdas de mercurio están limitadas a un máximo de 2.300 gr/24 horas. La *US EPA* está elaborando un reglamento que podría limitar aún más las emisiones de mercurio procedentes de plantas que producen cloro mediante el método de celdas de mercurio. El reglamento comprenderá límites de emisiones con arreglo a la *MACT* y a las prácticas de gestión, y pasará de la normativa actual que se aplica por igual a todas las instalaciones, independientemente de su tamaño, a medidas normalizadas para los niveles de producción.

831. Además, a manera de medida voluntaria, el Instituto del Cloro (*Chlorine Institute*), en nombre de las instalaciones de cloro-álcali con celdas de mercurio de Estados Unidos, se comprometió en 1997 a reducir en un 50% el uso del mercurio hacia 2005 y a informar anualmente sobre los progresos realizados. En abril de 2002, el Instituto del Cloro presentó su quinto informe anual, en el que indicaba que el consumo de mercurio por parte de las fábricas estadounidenses de cloro-álcali había disminuido en un 81% entre 1995 y 2001, o un 75% teniendo en cuenta la disminución de la capacidad de producción. Esta disminución desde la base inicial ha supuesto pasar de unas 154 toneladas métricas anuales a unas 28 en 2001.

832. **Producción de energía.** La mayor fuente antropógena de emisiones de mercurio en Estados Unidos son actualmente las centrales de generación de energía mediante combustión del carbón. El 14 de diciembre de 2000 la *EPA* anunció que era apropiado y necesario reglamentar las emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos (incluido el mercurio) procedentes de las centrales eléctricas públicas. Actualmente se está preparando una reglamentación que se propondrá el 15 de diciembre de 2003 y se promulgará el 15 de diciembre de 2004. Para que haya alternativas óptimas para reducir las emisiones de mercurio, la *US EPA*, el Departamento de Energía, los grupos de industrias eléctricas y algunas compañías eléctricas están trabajando para establecer, elaborar y demostrar tecnologías nuevas y modificadas para controlar las emisiones de mercurio. Trabajando conjuntamente, estas organizaciones están probando y evaluando las opciones más prometedoras en este campo. Los resultados de estas investigaciones se utilizarán para apoyar la elaboración y aplicación de una reglamentación *MACT* para el mercurio. Además, Estados Unidos está estudiando también una propuesta de la administración Bush, la iniciativa de cielos limpios (*Clear Skies Initiative*) que, de adoptarse, supondría reducciones significativas de las emisiones de mercurio procedentes de las centrales eléctricas como resultado de una estrategia contra múltiples contaminantes que también reduciría las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno procedentes de estas plantas mediante un programa denominado cap and trade (definición de la cantidad total de contaminación y distribución de permisos negociables para emitir).

833. **Tratamiento de los desechos, incluida la incineración.** Antes de 1995 las cámaras de combustión de desechos municipales y los incineradores de desechos médicos eran claramente las fuentes más importantes de emisiones de mercurio en la atmósfera. Cuando entre plenamente en vigor, la reglamentación de estos incineradores, que se ha completado ya, reducirá las emisiones de estas categorías de fuentes en un 90% anual con respecto a los niveles de 1995.

834. A modo de medida voluntaria, la *US EPA* y la Asociación de Hospitales de Estados Unidos (*American Hospital Association*) firmaron en 1998 un memorándum de entendimiento por el que se comprometían a colaborar para reducir de manera significativa los desechos de los hospitales para el año 2005. El acuerdo prevé la eliminación casi total de los desechos que contienen mercurio de los hospitales y una reducción de un tercio en los desechos de los hospitales para 2005.

835. En diciembre de 1995 la *US EPA* terminó sus normas de desempeño para fuentes nuevas (*New Source Performance Standards, NSPS*) y directrices para emisiones (*Emission Guidelines, EG*) que se aplican a las **cámaras municipales de combustión de desechos** con una capacidad superior a 227 toneladas métricas diarias (es decir, cámaras de combustión grandes). La norma para las emisiones de mercurio en el aire para las nuevas cámaras municipales de combustión y las ya existentes es de 0,08 miligramos por metro cúbico estándar por día (mg/dscm) con un 7% de oxígeno (7% O<sub>2</sub>). Las emisiones de las 167 grandes cámaras municipales de combustión sujetas a esta reglamentación, que entró en vigor en diciembre de 2000, y las emisiones de mercurio (basadas en los datos de conformidad de las pruebas de chimenea hechas en el año 2000) procedentes de esta categoría de fuentes se han reducido en un 95% con relación a los niveles de 1990. El nivel de desempeño típico fue de 0,02 mg/dscm. En diciembre de 2000 se adoptó una norma complementaria (a las NSPS y a los EG) para las cámaras municipales de combustión pequeñas (de 32 a 227 toneladas métricas diarias), norma que deberá actualizarse obligatoriamente en diciembre de 2005. Se aplican los mismos límites para las emisiones de mercurio y se espera utilizar la misma tecnología de control.

836. La *US EPA* terminó sus normas de desempeño para fuentes nuevas y directrices para emisiones para **incineradores de desechos médicos** (62 FR 48348) en septiembre de 1997. Estas directrices establecen normas que limitan las emisiones de los nuevos incineradores. Se espera que las normas reduzcan las emisiones de mercurio entre un 45% y un 75%. Las directrices sobre emisiones también exigen a los estados que elaboren reglamentos que limiten las emisiones de los incineradores de desechos médicos existentes. Se prevé que las directrices sobre emisiones reduzcan entre un 93% y un 95% las emisiones de los incineradores existentes. Las directrices también exigen capacitación y calificación por parte de los operadores, incorporan exigencias con respecto a la ubicación de estas instalaciones, precisan los requisitos para las pruebas y la vigilancia para demostrar su conformidad con los límites de las emisiones y establecen la obligación de presentar datos y mantener registros.

837. Algunos estados, como Nueva York, California y Texas, han adoptado en los últimos años reglamentos relativamente estrictos para limitar las emisiones procedentes de los incineradores de desechos médicos. La aplicación de estos reglamentos ha entrañado reducciones muy importantes en las emisiones de mercurio en dichos estados. También ha modificado de forma considerable la manera en que se gestionan los desechos médicos en estos estados. Muchas instalaciones se han adaptado a los nuevos reglamentos pasando a otras formas de tratamiento y opciones de eliminación de los desechos médicos para evitar los costos de adquisición de equipos de control de la contaminación. Las dos alternativas más frecuentes han sido la eliminación por contrato en el exterior, en incineradores comerciales más grandes, y el tratamiento in situ por otros medios (por ejemplo, autoclave mediante vapor).

838. **Incineradores de desechos peligrosos.** El 14 de febrero de 2002 y conforme a los poderes que le atribuyen la ley de protección de la calidad del aire (Clean Air Act) y la ley de recuperación y conservación de recursos (*Resource Conservation and Recovery Act, RCRA*), la *US EPA* promulgó unas normas provisionales sobre emisiones para los incineradores de desechos peligrosos, hornos de cemento que queman desechos peligrosos y hornos de agregados de poco peso que queman desechos peligrosos. Estas normas limitan las emisiones de furanos y dioxinas cloradas y otros compuestos orgánicos tóxicos, metales tóxicos (incluido el mercurio), ácido clorhídrico, cloro gaseoso y partículas. En 2005, la *US EPA* emitirá las normas finales para estas tres categorías de instalaciones que queman desechos peligrosos; además, la Agencia elaborará normas sobre emisiones para las calderas industriales que queman desechos peligrosos y las instalaciones de producción de ácido clorhídrico.

839. **Eliminación de desechos.** El reglamento de la RCRA indica la clasificación específica y las exigencias relativas a la eliminación de los productos y desechos que contienen mercurio. Este reglamento va destinado específicamente a los desechos, no a las fuentes y, por lo tanto, puede aplicarse

a cualquier instalación que genere desechos que contengan mercurio. El reglamento describe los requisitos específicos de eliminación de los desechos. Todos los desechos que contengan mercurio están sujetos a restricciones de eliminación en el suelo. De esta manera, la concentración de mercurio en estos desechos debe ser inferior al nivel de concentración reglamentario antes de que los desechos se puedan enterrar. En el caso de ciertos tipos de desechos, el reglamento exige un tratamiento específico, como la recuperación del mercurio o la incineración. En otros casos, sólo se exige una concentración de mercurio máxima y puede utilizarse cualquier método de tratamiento.

840. El reglamento de la RCRA también influye en la eliminación de productos y en las opciones de reciclado de los productos que contienen mercurio. Los productos descartados considerados desechos peligrosos están sujetos a requisitos de almacenamiento, transporte y permiso. Actualmente los termostatos y las lámparas fluorescentes están incluidos en un “reglamento de residuos universales” que alivia las restricciones de la RCRA sobre gestión de desechos peligrosos y permite a los estados establecer programas especiales de recogida. En 1995 la *US EPA* emitió el reglamento de residuos universales (*Universal Waste Rule, UWR*), concebido para reducir la cantidad de desechos peligrosos en el flujo de desechos sólidos municipales, alentar el reciclado y la eliminación adecuada de algunos desechos peligrosos comunes y reducir la carga reglamentaria de las empresas que generan estos desechos. Los desechos o residuos universales son artículos que los hogares y las pequeñas empresas arrojan habitualmente a la basura. Aunque los responsables de los desechos universales deben cumplir normas menos estrictas de almacenamiento, transporte y recogida de los desechos, éstos deben cumplir todos los requisitos de los desechos peligrosos para el reciclado, tratamiento o eliminación definitiva. Esta estructura de gestión retira estos desechos de los vertederos e incineradores municipales. En julio de 1999 la *US EPA* añadió las lámparas que contenían mercurio al reglamento de residuos universales, que ya abarcaba las baterías, los termostatos y los plaguicidas. En 2002 la EPA propuso añadir a este reglamento otros desechos que contienen mercurio.

841. **Minería recreativa.** En Estados Unidos no hay una industria activa de extracción del mercurio. Tampoco se utiliza el mercurio en las minas de oro a gran escala. Ha habido una recuperación menor del mercurio por parte de los mineros aficionados de California, pero el mercurio se recupera como mercurio libre elemental en suelos fluviales como un subproducto del uso histórico. El mercurio se recupera casualmente en los deslizaderos de los operadores aficionados al dragado de aluviones. La *US EPA* y el estado de California están estudiando formas de establecer puntos para recoger el mercurio de desecho para evitar que los aficionados a la minería lo viertan en las corrientes de agua.

842. **Productos alimenticios.** La *FDA* reglamenta el mercurio en los alimentos, fármacos y cosméticos. Este organismo ha establecido un nivel de intervención de 1 ppm de metilmercurio en el pescado, marisco y otros animales acuáticos, y puede retirar del comercio los alimentos que no respetan este nivel. La *FDA* ha advertido a las mujeres en edad de procrear que limiten su consumo de tiburón, pez espada, blanquillo camello y caballa gigante (carite lucio) en función del contenido de metilmercurio. Los estados, tribus y territorios tienen la responsabilidad de emitir avisos sobre el consumo del pescado que se captura localmente; muchos departamentos de salud estatales utilizan una concentración de 0,5 ppm de metilmercurio como desencadenante de la emisión de estos avisos. Algunos estados también emiten avisos sobre la limitación del consumo de especies comerciales no locales (por ejemplo, el atún en conserva). En el sitio web <http://www.cfsan.fda.gov/list.html> se puede encontrar información completa sobre las recomendaciones acerca del consumo de pescado que emiten los estados.

843. **Mercurio en productos.** Los productos que contienen mercurio están reglamentados de varias formas. En el ámbito federal, la reglamentación de los productos que contienen mercurio en general se ha centrado en torno a motivos sanitarios para eliminar el mercurio de los productos, recurriendo para ello a los reglamentos de la ley federal de insecticidas, fungicidas y rodenticidas (*Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act, FIFRA*) y de la ley federal de alimentos, drogas y cosméticos (*Federal Food, Drug, and Cosmetic Act, FDCA*). En los últimos años, muchos estados han adoptado planteamientos diferentes. Entre los estados son cada vez más frecuentes las restricciones de productos que contienen mercurio, otrora aplicadas con moderación por el Gobierno federal. Algunos estados han puesto en marcha una serie de iniciativas destinadas a reducir las liberaciones de mercurio procedentes

de los productos usados y de la eliminación de productos. Estos proyectos comprenden la obligación de notificar y etiquetar para informar sobre el contenido de mercurio de determinados productos y de informar a los compradores de que los productos que adquieren contienen mercurio; la prohibición de vender diversos productos para los que se considera que hay alternativas fácilmente disponibles, como los termómetros para medir la fiebre, los manómetros de lecherías, chucherías (juguetes, bibelots), interruptores para automóviles y termostatos para usos domésticos y comerciales; los límites de concentración en otros productos, como las baterías y embalajes; las restricciones con respecto a la eliminación de productos de manera que los productos que contengan mercurio puedan separarse del flujo de desechos sólidos y reciclados; así como los programas de recogida patrocinados por los estados para productos como los termómetros para medir la fiebre, los inventarios dentales antiguos y los productos que se encuentran en las escuelas.

844. **Baterías.** Entre finales de 1989 y principios de 1991 todos los fabricantes de Estados Unidos habían convertido su producción, de manera que el contenido de mercurio —con excepción de las pilas en forma de botón o de moneda— no sobrepasaba 0,025% de mercurio en peso. El 13 de mayo de 1996 entró en vigor una ley federal sobre la gestión de baterías que contienen mercurio y recargables (*Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act*) que prohíbe la venta de:

- 1) baterías alcalinas y de manganeso que contienen mercurio (las pilas alcalinas y de manganeso en forma de botón están limitadas a 25 mg de mercurio por pila),
- 2) baterías de carbón-zinc que contienen mercurio,
- 3) pilas en forma de botón de óxido de mercurio para utilizar en Estados Unidos, y
- 4) cualquier pila de óxido de mercurio, a menos que el fabricante establezca un lugar para la recogida que reúna todas las aprobaciones federales, estatales y locales y donde los particulares puedan enviar las pilas para que se reciclen o eliminen.

La ley contiene ciertos requisitos con respecto al etiquetado y fomenta los programas voluntarios de la industria mediante la eliminación de barreras para financiar la recogida y el reciclado o la eliminación adecuada de baterías recargables usadas. La ley también concede a los estados competencias para añadir otras baterías al programa de reciclado. Esta ley federal siguió el ejemplo de varios estados que aprobaron leyes a principio de la década de 1990 por las que limitaban el contenido de mercurio de las baterías.

845. **Cosméticos.** Con arreglo a la ley federal de alimentos, drogas y cosméticos (*Federal Food, Drug, and Cosmetic Act, FFDC*), el uso del mercurio como agente conservante o antimicrobiano se limita a los cosméticos o pomadas para la zona de los ojos en concentraciones inferiores a 60 ppm. No se reconoce que el óxido de mercurio amarillo sea un agente oftálmico antiinfeccioso seguro y eficaz.

846. **Amalgamas dentales.** La *FDA* también reglamenta las amalgamas dentales con arreglo a la *FFDC*. El mercurio dental se considera como un instrumento médico de clase I, sujeto a una amplia reglamentación sobre su uso. Las aleaciones de amalgamas dentales se consideran instrumentos de clase II y están sujetas a otros controles especiales.

847. **Interruptores eléctricos.** En colaboración con la industria y asociaciones apropiadas se están haciendo trabajos para reducir el mercurio que se utiliza en los interruptores eléctricos. Algunos estados han promulgado leyes o prevén hacerlo para exigir a los responsables de los vehículos que están al final de su vida útil y a los fabricantes de automóviles que establezcan y mantengan un programa de retirada de los interruptores con mercurio para hacer frente al problema de los interruptores de los vehículos que ya están en carretera.

848. **Lámparas.** De los 500 a 600 millones de lámparas que contienen mercurio y que se venden cada año en Estados Unidos, alrededor del 96% son fluorescentes. Se calcula que, también cada año, se elimina un número parecido de lámparas. Se espera que las liberaciones de mercurio debidas a las lámparas que contienen mercurio disminuyan en el futuro por diversas razones. Una de ellas es que los estados están empezando a ver que el reciclado es una forma viable de disminuir las liberaciones de mercurio. En el estado de Massachusetts existe actualmente un proyecto de ley que podría exigir a todos los fabricantes de productos que contienen mercurio que podrían venderse u ofrecerse para la venta que se hagan cargo de que dichos productos se reciclen debidamente mediante la financiación de

un sistema de recogida. Además, ha habido avances tecnológicos en la fabricación de lámparas fluorescentes. Desde mediados de la década de 1980 los fabricantes de productos eléctricos han reducido la cantidad promedio de mercurio que hay en cada lámpara fluorescente desde una media de 48,2 mg a 11,6 mg por lámpara en 1999. A pesar de todo, es necesaria una cierta cantidad de mercurio para mantener las propiedades que se buscan en dichas lámparas. Una encuesta reciente de la asociación nacional de fabricantes de material eléctrico (*National Electrical Manufacturers Association*) mostró que, en 2001, una lámpara media de 4 pies (1,22 m) de largo contenía 8,3 mg de mercurio.

849. **Pinturas.** En mayo de 1991 todas las inscripciones de biocidas de mercurio utilizados en las pinturas fueron anuladas voluntariamente por las entidades que los habían registrado, causando de esta manera una disminución drástica del uso del mercurio en la pintura. Además de que la industria de las pinturas cambiara sus fórmulas para eliminar el mercurio, la *US EPA* prohibió el uso del mercurio en las pinturas interiores en 1990 y en las exteriores en 1991.

850. **Plaguicidas.** La ley federal de insecticidas, fungicidas y rodenticidas (*FIFRA*) cubre la venta y uso de plaguicidas, incluso el registro de los productos químicos que pasan las pruebas de salud y seguridad. Anteriormente, algunos compuestos de mercurio se había inscrito como plaguicidas, bactericidas y fungicidas; sin embargo, las inscripciones de los últimos plaguicidas hechos a partir del mercurio para controlar el moho rosa y blanco de la nieve fueron anuladas voluntariamente por el fabricante en noviembre de 1993.

851. **Termómetros.** En colaboración con la industria y asociaciones apropiadas se están haciendo trabajos para reducir el mercurio que se utiliza en los termómetros por medio de sustitutos del mercurio. Algunos estados han prohibido la utilización de termómetros para medir la fiebre que contengan mercurio y la mayor parte de los comercios minoristas más importantes ya no los venden.

852. **Termostatos.** La Corporación de Reciclado de Termostatos (*Thermostat Recycling Corporation, TRC*), institución financiada por la industria, puso en marcha en 1997, a modo de medida voluntaria, un programa para reciclar los termostatos con interruptores de mercurio en nueve estados (véase [www.nema.org/index\\_nema.cfm/664/](http://www.nema.org/index_nema.cfm/664/)). Desde entonces se ha ampliado a 48 estados y, en 2001, recogió 48.215 termostatos y 402 libras de mercurio; desde que el programa se creó, se han recogido más de 120.000 termostatos y 1.000 libras de mercurio. Dos estados (Maine y Oregón) han reconocido que la tasa de recuperación del programa TRC es relativamente baja y, por ello, a partir de enero de 2006, prohibirán la venta de nuevos termostatos con mercurio para usos residenciales y comerciales.

853. **Vacunas.** Con arreglo a la ley de modernización de la administración de fármacos y alimentos (*Food and Drug Administration Modernization Act*) de 1997, la *FDA* debe evaluar el riesgo de todos los alimentos y fármacos que contengan mercurio. Por ello, la *FDA* solicitó a los fabricantes de vacunas que dieran información sobre el contenido de timerisol de las vacunas. Con arreglo a esta información, el Servicio de Salud Pública (*Public Health Service*), la Academia de Pediatría de Estados Unidos (*American Academy of Pediatrics*) y los fabricantes de vacunas acordaron que las vacunas que contenían timerisol tenían que retirarse lo antes posible. Se ha pedido a los fabricantes que se comprometan claramente a eliminar el mercurio de las vacunas y la *FDA* efectuará exámenes acelerados de las revisiones para las solicitudes de licencia de un producto.

854. **Vehículos.** La utilización de interruptores que contienen mercurio en los vehículos está siendo eliminada paulatinamente mediante proyectos voluntarios. El proyecto de contabilidad ambiental (*Environmental Accounting Project*) de la *US EPA* es un proyecto cooperativo con las empresas, el medio universitario y otros para fomentar métodos de contaduría administrativa y de elaboración de presupuestos de capital responsables que se ocupen mejor de los costos ambientales. El proyecto anima y motiva a las empresas a que tengan en cuenta toda la gama de costos ambientales y a que los integren en sus decisiones. Un fabricante de automóviles de Estados Unidos está retirando o sustituyendo todos los interruptores de mercurio que venía utilizando tradicionalmente en sus luces del compartimento del motor. Al aplicar los principios de contaduría ambiental, la compañía llegó a la conclusión de que podría sustituir de una manera ventajosa los interruptores de mercurio por interruptores esféricos o retirar totalmente los interruptores. En el primer grupo de vehículos en el que la compañía probó la factibilidad de la sustitución y de la retirada, el fabricante calculó que podría evitar unos costos de



40.000 dólares estadounidenses. La mayor parte de estos gastos estaba asociada con la documentación de la retirada de los vehículos de los interruptores de mercurio antes de la eliminación y con la posible responsabilidad por el mercurio que pudiera liberarse en el medio ambiente tras la eliminación del vehículo. Una vez hechos sus propios análisis de costos, otros fabricantes de autos están siguiendo estas medidas y han empezado a retirar los interruptores de mercurio de sus automóviles. La industria automotriz ha señalado que, en 2002, dejará de fabricar vehículos con interruptores de mercurio. Sin embargo, sigue habiendo una cantidad significativa de mercurio en los vehículos en circulación. Algunos estados han establecido programas para retirar los interruptores ya sea voluntariamente u obligatoriamente para quienes desmantelan los vehículos.

855. **Higiene y seguridad en el trabajo.** La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (*Occupational Safety and Health Administration, OSHA*) tiene la responsabilidad de mantener condiciones seguras en los lugares de trabajo. La *OSHA* establece los niveles de exposiciones permisibles para el mercurio elemental en los lugares de trabajo. El mercurio se considera una neurotoxina capaz de producir cambios de comportamiento, de disminuir la función motriz y de otros efectos en el sistema nervioso. Las normas sobre el mercurio de la *OSHA* también aconsejan que se evite el contacto con la piel.

856. Las normas vigentes en los lugares de trabajo pueden influir en los tipos de procesos que se emplean en las instalaciones. Por ejemplo, cuando la *OSHA* endurece sus normas con respecto a una sustancia, puede forzar a los usuarios de dicha sustancia a modificar sus procesos o a eliminar totalmente el uso de dicha sustancia para cumplir con las nuevas normas. Niveles de concentración de aire en los lugares de trabajo para exposición al mercurio elemental: la sección 29 CFR 1919.1000 establece que el límite de exposición permisible (*PEL*) para un promedio ponderado de 8 horas es de  $0,1 \text{ mg/m}^3$ .

857. **Exigencias de información y presentación de datos.** Con arreglo al inventario de liberación de sustancias tóxicas (*Toxics Release Inventory, TRI*), desde el año de declaración 2000 el umbral de presentación de informes sobre el mercurio y sus compuestos se ha bajado a 5 kg anuales (el umbral previo era de 4.500 kg). Con esta medida, Estados Unidos podrá obtener un panorama mucho más completo de las cantidades de mercurio y de sus compuestos que se liberan en el aire, agua o tierra, se transfieren para eliminación o reciclado, o se reciclan in situ en sus instalaciones industriales.

858. **Transporte.** El Departamento de Transporte reglamenta el transporte de materiales peligrosos con arreglo a la ley de transporte de materiales peligrosos (**Hazardous Materials Transportation Act**). El mercurio y sus compuestos son sustancias peligrosas sujetas a normas de embalaje, envío y transporte para las materias peligrosas.

859. **Cooperación regional.** En 1997, Estados Unidos y Canadá firmaron la estrategia binacional para sustancias tóxicas en los Grandes Lagos (*Great Lakes Binational Toxics Strategy*). El objetivo de la estrategia es tratar de lograr para el año 2006 una reducción del 50% del uso deliberado del mercurio y una reducción también del 50% de la liberación del mercurio debida a la actividad humana. El objetivo se aplica a todas las liberaciones de mercurio en el país, así como a los vertidos directos en la cuenca de los Grandes Lagos. Estados Unidos también coopera con México y Canadá en el Plan de Acción Regional de América del Norte sobre una gestión sensata de los productos químicos, plan en el que el mercurio es una sustancia prioritaria. Estos proyectos regionales se describen con más detalle en la sección 9.5.

### **Reducciones en el consumo y uso del mercurio en Estados Unidos**

860. La figura 9.2 muestra las tendencias en el consumo de mercurio señaladas para Estados Unidos, distribuidas entre los sectores industriales, según las presentan Sznoppek y Goonan (2000). La gráfica muestra una disminución del consumo de un 75% desde la década de 1970. El consumo total declarado bajó en más del 50%, desde las 711 toneladas métricas de 1990 a las 372 toneladas seis años después (1996). Según Sznoppek y Goonan (2000), las dos principales causas de esta reducción han sido la eliminación del mercurio de las baterías gracias a la reglamentación y a los avances tecnológicos, y la

eliminación, por reglamento, de los fungicidas a base de mercurio que se utilizaban en las pinturas. En la sección 8.2 se describen diversas posibilidades para la sustitución del mercurio.

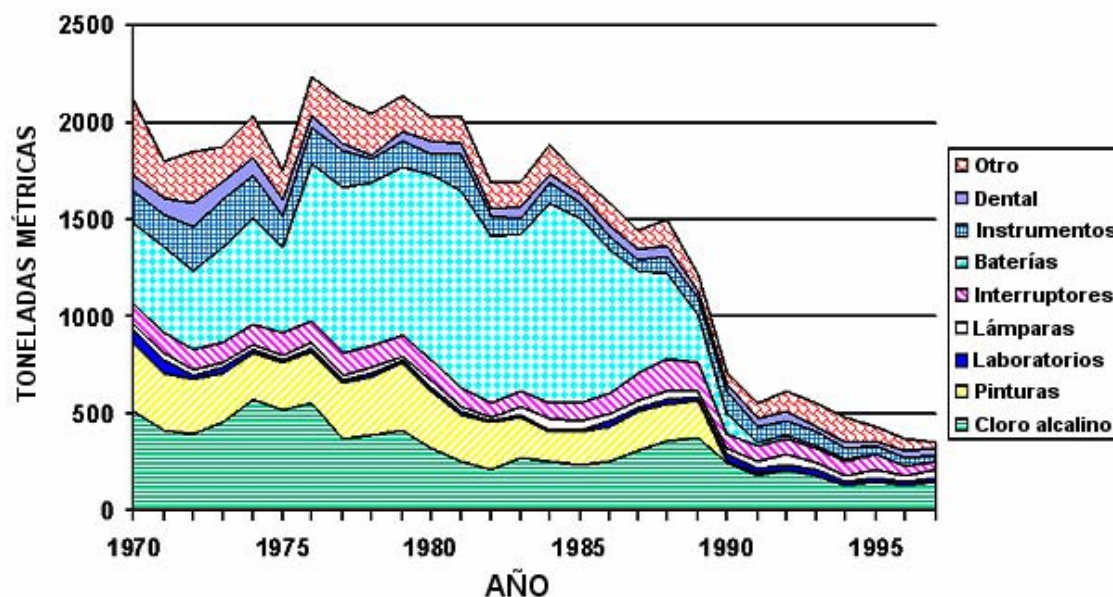


Figura 9.2 Consumo industrial de mercurio declarado en Estados Unidos durante el periodo 1970-1997, distribuido entre los sectores industriales (Sznoppek y Goonan, 2000; figura original presentada por gentileza de US Geological Surveys)

### 9.3 Acuerdos e instrumentos internacionales

861. Existen acuerdos e instrumentos internacionales que contienen disposiciones para gestionar y controlar las liberaciones y limitar el uso del mercurio y las exposiciones a él. Los instrumentos definen con frecuencia objetivos de reducción o exigen la aplicación de medidas específicas de ámbito nacional, que complementan los proyectos nacionales en los países participantes. La tabla 9.3 ofrece un panorama general de estas iniciativas internacionales que se han constatado en este proyecto y sus principales características. En las secciones siguientes se presentan los resúmenes de cada uno de los acuerdos e instrumentos y su pertinencia con respecto al mercurio. La descripción general de cada acuerdo o instrumento procede principalmente del PNUMA (UNEP, 2001). La descripción del Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia (LRTAP, por su sigla en inglés) se ha completado con información de sitios web relacionados.

Tabla 9.3 – Panorama general de los acuerdos o instrumentos internacionales que contienen disposiciones relativas al mercurio

Sección	Acuerdo o instrumento internacional	Regiones cubiertas por el acuerdo o instrumento	Pertinencia del acuerdo o instrumento con respecto al mercurio	Tipos de medidas dirigidas al mercurio que se establecen en el acuerdo o instrumento
9.3.1	Convenio LRTAP y su protocolo de Aarhus de 1998 sobre metales pesados	Europa Central y Oriental, Canadá y Estados Unidos	Se ocupa del mercurio y de sus compuestos en las liberaciones, productos, desechos, etc.	Definición de objetivos, compromisos vinculantes sobre reducción de las liberaciones, recomendaciones y vigilancia
9.3.2	Convenio OSPAR	Nordeste Atlántico, mar del Norte inclusive (comprende las aguas interiores y las aguas territoriales marinas de las Partes)	Se ocupa del mercurio y de sus compuestos en las liberaciones, productos, desechos, etc.	Definición de objetivos, compromisos vinculantes sobre reducción de las liberaciones, recomendaciones, vigilancia e información
9.3.3	Convenio de Helsinki	Mar Báltico (comprende la entrada del mar Báltico y las cuencas vertientes de estas aguas)	Se ocupa del mercurio y de sus compuestos en las liberaciones, productos, desechos, etc.	Definición de objetivos, compromisos vinculantes sobre reducción de las liberaciones, recomendaciones y vigilancia
9.3.4	Convenio de Basilea	Mundial	Cualquier desecho que contenga mercurio o esté contaminado por él o sus compuestos se considera peligroso y está sujeto a disposiciones concretas.	Compromisos vinculantes en relación con el transporte internacional de desechos peligrosos, procedimiento de información y aprobación de la importación y exportación de desechos peligrosos
9.3.5	Convenio de Róterdam	Mundial	Se ocupa de los compuestos inorgánicos del mercurio, compuestos alquílicos del mercurio, compuestos alquílico-oxialquílicos y compuestos arílicos empleados como plaguicidas.	Compromiso vinculante en relación con la importación y exportación de estos compuestos de mercurio cubiertos, procedimientos para el intercambio de información y notificación de exportaciones
9.3.6	Convenio de Estocolmo	Mundial	El convenio NO se ocupa de los compuestos de mercurio.	-

### 9.3.1 Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia y Protocolo de Aarhus sobre Metales Pesados de 1998 (Convenio LRTAP)

862. El objetivos del Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia es proteger al hombre y su medio ambiente de la contaminación atmosférica e intentar limitar y, en la medida de lo posible, reducir y prevenir paulatinamente la contaminación atmosférica, incluso la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia. El Convenio establece un marco institucional en el que se aúnan componentes políticos y de investigación. También establece diversos programas de cooperación para evaluar y supervisar los efectos de la contaminación atmosférica.

863. El Convenio exige a las Partes que elaboren políticas y estrategias que sirvan de medios para luchar contra los vertidos de contaminantes, recurriendo para ello al intercambio de información, a la consulta, investigación y vigilancia. Las Partes también tienen que cooperar para estudiar o elaborar tecnologías que permitan reducir las emisiones de los principales contaminantes atmosféricos, elaborar instrumentación y otras técnicas de vigilancia y medida de las emisiones y de las concentraciones en el ambiente de contaminantes atmosféricos, mejorar los modelos para comprender la transmisión de contaminantes atmosféricos transfronterizos a gran distancia, los efectos de los principales contaminantes atmosféricos en la salud humana y en el medio ambiente, y elaborar programas de sensibilización y capacitación en relación con los aspectos ambientales de la contaminación causada por

los principales contaminantes atmosféricos. La aplicación del Convenio ya ha contribuido positivamente a reducir las emisiones de azufre en Europa y también se observan progresos en la reducción de emisiones de óxidos y componentes volátiles orgánicos del nitrógeno.

### **Regiones cubiertas y entrada en vigor del protocolo**

864. El Convenio y sus protocolos están abiertos a los países miembros de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) así como a los países que tienen un régimen consultivo ante la CEPE y las organizaciones de integración económica regional, constituidas por Estados miembros soberanos de la CEPE. La CEPE consta de 55 Estados miembros, principalmente de Europa central y oriental y también abarca a Canadá y Estados Unidos (para la lista de países miembros de la CEPE, véase <http://www.unece.org/oes/CEeintro.htm>).

865. El Convenio entró en vigor el 16 de marzo de 1983 y el 1 de octubre de 2002 tenía 49 Partes. Desde su entrada en vigor se ha ampliado mediante ocho protocolos, de los cuales el Protocolo de Aarhus sobre Metales Pesados de 1998 es especialmente pertinente para el mercurio.

866. El Protocolo de Aarhus entrará en vigor noventa días después de la fecha en que se haya depositado ante el Depositario el sexto instrumento de ratificación, aceptación, aprobación o admisión. A 2 de octubre de 2002 había 13 Partes (Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, República Checa, República de Moldavia, Suecia, Suiza y la Comunidad Europea). El Protocolo aún no ha entrado en vigor.

867. La secretaria ejecutiva de la CEPE proporciona, a través de su División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos, la Secretaría para el Órgano Ejecutivo del Convenio.

### **El Protocolo de Aarhus sobre Metales Pesados de 1998 y su pertinencia para el mercurio**

868. El Órgano Ejecutivo del Convenio adoptó el Protocolo sobre Metales Pesados el 24 de junio de 1998 en Aarhus, Dinamarca. El Protocolo va dirigido a tres metales especialmente dañinos: el cadmio, el plomo y el mercurio, y exige a las Partes que reduzcan sus liberaciones de estos tres metales. El Protocolo pretende reducir las emisiones procedentes de fuentes industriales (industria del hierro y acero, industria de los metales no ferrosos), de los procesos de combustión (generación de energía, transporte por carretera) y de la incineración de desechos. El Protocolo establece límites estrictos en materia de emisiones procedentes de fuentes estacionarias y sugiere las mejores técnicas disponibles para estas fuentes. El Protocolo exige a las Partes que eliminen la gasolina con plomo y pongan en marcha medidas para reducir las liberaciones de metales pesados procedentes de otros productos. Deben comunicarse los niveles de las emisiones utilizando para ello las metodologías indicadas por el Órgano Director del EMEP (Programa de Cooperación para la Vigilancia Continua y la Evaluación del Transporte a Gran Distancia de Contaminantes Atmosféricos en Europa).

869. El artículo 3 describe las obligaciones básicas que se establecen en el Protocolo. A continuación se presenta un resumen de las obligaciones pertinentes para el mercurio.

**A) Reducción de las emisiones atmosféricas anuales totales de mercurio**, en comparación con el año de referencia para la Parte (1990 u otro año situado entre 1985 y 1995, según el año en que el país se haya convertido en Parte), mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles, medidas de control de productos u otras estrategias de reducción de emisiones.

**B) Uso de las mejores técnicas disponibles para fuentes estacionarias**, para las nuevas plantas, dentro de 2 años, para las que ya existen, dentro de 8 años. Las normas para las mejores técnicas disponibles se ofrecen como ejemplo en el anexo III del Protocolo, y comprenden la tecnología de la limpieza y la sustitución de la tecnología basada en el mercurio, por ejemplo, en las plantas de cloro-álcali.

**C) Aplicación de valores límite para controlar las emisiones de las principales fuentes estacionarias, tanto nuevas como vigentes**. Los valores límite para ciertas fuentes se indican en el anexo V del Protocolo, por ejemplo para las emisiones de partículas de las plantas de combustión, para

las emisiones de mercurio de las plantas de cloro-álcali y las emisiones de mercurio de los incineradores municipales, médicos y de desechos peligrosos.

**D) Aplicación de medidas de control de los productos en relación con el mercurio.** El Protocolo exige a las Partes que establezcan límites específicos de mercurio en las pilas alcalinas de manganeso en 5 años, o en 10 años para las Partes con economías en transición. Están exentas de esta prohibición las pilas alcalinas de manganeso de tipo botón y las baterías compuestas por pilas de tipo botón. Además, las Partes deberían estudiar la aplicación de otras medidas de control de los productos, como se describe en el anexo VII del Protocolo. El Protocolo expone una serie de recomendaciones para los productos que contienen mercurio, como equipos eléctricos, componentes eléctricos (termostatos, interruptores), dispositivos para medir (termómetros, manómetros, barómetros), las lámparas fluorescentes, las amalgamas dentales, los plaguicidas, incluidos los tratamientos de semillas, las pinturas y las baterías distintas a las alcalinas de manganeso, prohíbe determinados productos e incluye acuerdos y programas de reciclado voluntarios.

### **Vigilancia continua y evaluación del transporte a gran distancia de contaminantes atmosféricos en Europa**

870. El principal objetivo del programa EMEP, asociado con el proceso del LRTAP, es ofrecer regularmente a los Gobiernos y organismos subsidiarios sujetos al Convenio LRTAP información científica adecuada para apoyar la elaboración y la evaluación más a fondo de los protocolos internacionales sobre reducción de liberaciones negociados en el marco del Convenio. Al principio, el programa EMEP se centró en la evaluación de la transmisión transfronteriza de la acidificación y eutrofización; posteriormente, los objetivos del programa se ampliaron para ocuparse de otras cuestiones de las que trata el Convenio, como los compuestos orgánicos persistentes, los metales pesados, como el mercurio, y las partículas.

871. El programa EMEP se basa en tres elementos principales: 1) la recogida de datos sobre las emisiones; 2) las medidas de la calidad del aire y de las precipitaciones y 3) la modelación del transporte atmosférico y de la sedimentación de la contaminación atmosférica. Gracias a la combinación de estos tres elementos el EMEP lleva a cabo las evaluaciones obligatorias y los informes habituales sobre emisiones, concentraciones y/o sedimentaciones de los contaminantes atmosféricos, sobre la cantidad e importancia de los flujos transfronterizos y sobre los excedentes afines de los niveles críticos de las cargas y umbrales. La combinación de estos componentes también ofrece una buena base para evaluar y calificar los cálculos del EMEP.

872. El programa EMEP se lleva a cabo en colaboración con una extensa red de científicos y especialistas nacionales que participan en la recogida, análisis y comunicación sistemáticos de datos sobre las emisiones, datos de las medidas y resultados integrados de la evaluación. Tres grupos de trabajo —medición y modelación, inventarios y proyecciones de emisiones, y modelación integrada de la evaluación— mantienen discusiones e intercambios científicos.

873. La coordinación e intercalibración de la calidad química del aire y de las medidas de las precipitaciones se efectúan en el Centro de Coordinación Química (o CCC por su nombre en inglés). El almacenamiento y distribución de información fiable sobre las emisiones y sobre las proyecciones de emisiones es la labor que realiza el Centro de Síntesis Meteorológica-Oeste de Oslo, Noruega. La elaboración de la modelación para los metales pesados y compuestos orgánicos persistentes es responsabilidad del Centro de Síntesis Meteorológica-Este de Moscú, Federación Rusa. En 1999 el Órgano Ejecutivo del Convenio decidió incluir la evaluación integrada en las actividades de base del EMEP y estableció el *Center for Integrated Assessment Modelling (CIAM)* basándose para ello en el trabajo de modelación anterior, especialmente el modelo Información y Simulación sobre la Acidificación por Regiones (*Regional Acidification, Information and Simulation, RAINS*).

### **Aplicación de enfoques basados en efectos en el cumplimiento de las obligaciones del Convenio, cargas críticas y niveles críticos**

874. El Convenio LRTAP insta asimismo a la elaboración y posible aplicación de enfoques basados en los efectos para poner en práctica las disposiciones del Convenio de forma eficaz, es decir, enfoques

que tienen en consideración la exposición a la cual el hombre o el medio ambiente pueden estar sin sufrir efectos adversos directos. Un enfoque utilizado basado en los efectos se basa en las cargas críticas<sup>30</sup> y en los niveles críticos<sup>31</sup>. El Centro de Coordinación de Efectos (*Coordination Center for Effects, CCE*) en los Países Bajos, creado en 1990, forma parte del Programa de Cooperación Internacional sobre la Modelación y Cartografía de Niveles Críticos y Cargas Críticas de los Efectos, Riesgos y Tendencias de la Contaminación Atmosférica (*International Cooperative Programme on Modelling and Mapping of Critical Levels and Loads and Air Pollution Effects, Risks and Trends*) dentro del Grupo de Trabajo LRTAP sobre los Efectos.

875. El Centro de Coordinación de Efectos evalúa científicamente los riesgos declarados como umbrales críticos para bosques, lagos y otros ecosistemas de Europa causados por la contaminación atmosférica (a gran distancia). Esta información, que también se resume en mapas de umbrales críticos, sirve para entender cómo las medidas nacionales de disminución de la contaminación atmosférica pueden reducir estos riesgos para los ecosistemas en cualquier lugar de Europa. También contribuye, de manera novedosa, al apoyo científico de las políticas europeas en materia de reducción de la contaminación atmosférica. Además de los datos sobre las emisiones de los países y los costos de reducción de las mismas, también pueden cuantificarse ahora los beneficios, desde el punto de vista de la reducción de riesgos para los ecosistemas. La utilización de esta información en modelos de evaluación integrados, como por ejemplo el modelo *RAINS*, permite realizar el análisis político de las reducciones rentables de emisiones en Europa. Desde finales de la década de 1980 se han elaborado métodos de cómputo y cartografía de las cargas críticas de acidez (basada en azufre y nitrógeno) y eutrofización (basada en nitrógeno). Se están realizando intentos para elaborar las cargas críticas y niveles críticos para metales pesados, incluido el mercurio.

### 9.3.2 Convenio OSPAR para la Protección del Medio Marino en el Nordeste Atlántico

876. El Convenio OSPAR de 1992 para la Protección del Medio Marino en el Nordeste Atlántico tiene como objetivos tomar todas las medidas posibles para prevenir y eliminar la contaminación, y proteger la zona marina de los efectos adversos de las actividades humanas y salvaguardar la salud humana, así como conservar los ecosistemas marinos y, donde resulte posible, restaurar las zonas marinas que hayan sufrido efectos adversos. En el Convenio figuran anexos que tratan diferentes fuentes de contaminación, como la prevención y eliminación de contaminación producida por fuentes en tierra; la prevención y eliminación de la contaminación por vertidos o incineración (que prohíbe la incineración); la prevención y eliminación de la contaminación producida por fuentes mar adentro; la evaluación de la calidad del medio marino; y la protección y conservación de los ecosistemas y la diversidad biológica de la zona marítima.

#### Regiones cubiertas y entrada en vigor

877. El Convenio OSPAR está abierto a las Partes de los Convenios de “Oslo” y “París” (a saber, el Convenio para la prevención de la contaminación marina de origen terrestre y el Convenio para la

---

<sup>30</sup> La **carga crítica** (deposición) se ha definido como "una estimación cuantitativa de una exposición a uno o más contaminantes por debajo de la cual no se producen efectos nocivos de importancia en determinados elementos vulnerables del medio ambiente según se conoce actualmente". Así pues, una carga crítica es un indicador para la sostenibilidad de un ecosistema ya que ofrece un valor para la deposición máxima permitida de un contaminante por debajo del cual se reduce el riesgo de daño. Establecer una relación entre la biología y las propiedades fisicoquímicas de un ecosistema, su sensibilidad a la deposición de un contaminante, o sea la carga crítica, puede calcularse a partir de sus propiedades físicas y químicas. Esta información sobre la sensibilidad del ecosistema puede compararse con datos sobre deposiciones para identificar qué zonas reciben niveles de deposición que superan las cargas críticas en dicha zona.

<sup>31</sup> Paralelamente al desarrollo de las cargas críticas, se han elaborado **niveles críticos** (concentraciones), que se definen como “concentraciones de contaminantes en la atmósfera por encima de las cuales pueden producirse efectos adversos directos en los receptores, tales como seres humanos, plantas, ecosistemas o materiales, según se conoce actualmente”. A diferencia de las cargas críticas, se obtiene un único valor crítico para cada tipo de ecosistema (cultivos, bosques, vegetación seminatural), independientemente de las características del lugar.

prevención de la contaminación marina provocada por vertidos desde naves y aeronaves), a los estados ribereños de la zona marítima, a los estados situados corriente arriba en cursos fluviales que alcanzan la zona marítima o a las organizaciones regionales de integración económica que tengan un Estado miembro que esté calificado. La zona marítima abarca el Nordeste Atlántico, incluido el mar del Norte, y comprende las aguas interiores y el mar territorial de las Partes, el mar fuera de y adyacente al mar territorial bajo jurisdicción del estado ribereño, y alta mar. Las Partes pueden invitar de forma unánime para su acceso al Convenio a otros Estados u organizaciones regionales económicas que no cumplan los criterios.

878. El Convenio OSPAR entró en vigor el 25 de marzo de 1998. Sustituyó a los Convenios de París y Oslo. Sin embargo, las decisiones, recomendaciones y otros acuerdos adoptados en virtud de los dos Convenios anteriores siguen siendo de aplicación, sin modificaciones en su carácter jurídico, a menos que sean invalidados por medidas adoptadas en virtud del Convenio OSPAR. Actualmente hay 16 Partes en este Convenio: Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Islandia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Suecia, Suiza, el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y la Unión Europea.

879. La Comisión OSPAR, con representantes de cada una de las Partes, es el órgano rector del Convenio. La Comisión se reúne cada año, en ocasiones con la presencia de los ministros.

#### **Estrategia OSPAR relativa a sustancias peligrosas y su pertinencia con respecto al mercurio**

880. En la primera reunión ministerial de la Comisión OSPAR, celebrada en 1998 en Sintra, Portugal, se aprobó, entre otras cosas, una Estrategia relativa a las sustancias peligrosas, con vistas a la aplicación ulterior del Convenio OSPAR, que acababa de entrar en vigor. El objetivo de la Estrategia es prevenir la contaminación de la zona marítima reduciendo las descargas, emisiones y pérdidas de sustancias peligrosas, con el fin último de conseguir concentraciones en el medio marino cercanas a los valores de fondo para las sustancias de origen natural y cercanas a cero para las sustancias sintéticas artificiales.

881. En la Estrategia se incluye también un plazo que fija la base para la tarea del OSPAR de alcanzar el objetivo; se hará todo lo posible para avanzar en la consecución del objetivo de cese de las descargas, emisiones y pérdidas de sustancias peligrosas para el año 2020.

882. Con este fin, se ha establecido un proceso para establecer la lista OSPAR de sustancias químicas de acción prioritaria. Esta lista se revisó en 2001 y en la actualidad incluye 42 sustancias o grupos de sustancias, entre las que figura el mercurio y los compuestos orgánicos del mercurio. Estas sustancias químicas están siendo abordadas mediante la elaboración (para aquéllas en uso en la zona OSPAR) de documentos sobre antecedentes para cada sustancia o grupo, en los cuales se especifican las fuentes de aportación de éstas al medio marino, la amenaza que representan y las posibles medidas. Estas medidas se examinan posteriormente. En el año 2000, el OSPAR aprobó un Documento de Antecedentes sobre el Mercurio y los Compuestos Orgánicos del Mercurio (*Background Document on Mercury and Organic Mercury Compounds*) (OSPAR Commission, 2000) y las medidas recomendadas en el mismo son tomadas en consideración, según proceda, en la labor del OSPAR.

883. Hay varias medidas aplicables en virtud del OSPAR para el control de las emisiones, las descargas y las pérdidas de mercurio procedentes de sectores específicos, como, por ejemplo, las medidas relativas a la industria cloroalcalina y la decisión PARCOM 85/1 sobre los valores límite y objetivos de calidad para las descargas de mercurio realizadas por otros sectores distintos de la industria cloroalcalina (*PARCOM Decision 85/1 on Limit Values and Quality Objectives for Mercury Discharges by Sectors other than Chlor-alkali Industry*). Asimismo, las medidas OSPAR sobre mejores técnicas disponibles para diversas instalaciones industriales e instalaciones petrolíferas y de gas en mar abierto también contribuirán a limitar las descargas, emisiones y pérdidas de mercurio.

884. Con respecto al **sector de cloro-álcali**, existen varias medidas aplicables en lo que respecta al control del mercurio en descargas en el agua y emisiones en el aire. En la decisión PARCOM sobre nuevas plantas de cloro-álcali que utilizan celdas de mercurio (*PARCOM Decision on New Chlor-Alkali Plants Using Mercury Cells, 1982*) la Comisión decidió que las Partes podrían conceder autorizaciones

para nuevas plantas de cloro-álcali únicamente si dichas autorizaciones se basaban en la aplicación de los mejores medios técnicos disponibles para prevenir las descargas de mercurio. Los mejores medios técnicos disponibles en ese momento hacían posible limitar las descargas de mercurio utilizando el proceso de salmuera reciclada a menos de 0,5 g/tonelada métrica de capacidad de producción de cloro instalada. Además, la Comisión resolvió que a la hora de examinar la construcción de nuevas plantas, debería estudiarse el uso de tecnología que no utiliza mercurio, en concreto celdas de membrana, siempre y cuando las circunstancias lo permitan.

885. En la decisión PARCOM 90/3 sobre la reducción de las emisiones atmosféricas de las plantas existentes de cloro-álcali (*PARCOM Decision 90/3 on Reducing Atmospheric Emissions from Existing Chlor-Alkali Plants*), adoptada el 14 de junio de 1990, las Partes acordaron exigir a las plantas existentes de cloro-álcali a base de mercurio el cumplimiento, para el 31 de diciembre de 1996, de un nivel de 2g Hg/t Cl<sub>2</sub> de capacidad para emisiones en la atmósfera, a menos de que exista un compromiso firme de que la planta se convierta a tecnología que no utiliza mercurio antes del año 2000. También se acordó que el mercurio en hidrógeno liberado a la atmósfera, o quemado, se incluiría en esta norma. La decisión también recomendó la eliminación paulatina de las plantas existentes de cloro-álcali de celdas de mercurio, tan pronto como fuese posible, y la fijación del objetivo de eliminación completa para el año 2010. Los productores cloroalcalinos dentro de la zona OSPAR han cumplido los requisitos de reducción de las emisiones establecidos en la PARCOM 90/3. A fin de avanzar hacia las otras recomendaciones de esta decisión, han presentado seis compromisos voluntarios con OSPAR. Los detalles se ofrecen en el apartado 3.2.4 sobre la Comunidad Europea en la descripción sobre la producción de cloro-álcali.

886. Los medios principales para controlar las liberaciones de mercurio procedentes de productos son la inclusión de restricciones en la comercialización y la utilización de los productos, o la elaboración de productos que contienen sustitutos del mercurio no peligrosos.

887. **Descargas de mercurio procedentes del sector odontológico.** Varias Recomendaciones PARCOM relativas a la reducción de las descargas de mercurio procedentes de fuentes del sector de la odontología son aplicables en virtud del OSPAR. En 1981 la Comisión de París recomendó la instalación de filtros especiales en consultas y clínicas dentales para recoger los residuos de las amalgamas de mercurio. En la Recomendación PARCOM 89/3 sobre programas y medidas para reducir las descargas de mercurio de diversas fuentes (*PARCOM Recommendation 89/3 on Programmes and Measures for Reducing Mercury Discharges from Various Sources*) se insta a la utilización de materiales alternativos a las amalgamas dentales, cuando proceda y si se puede evitar un costo excesivo. El exceso de amalgama o la amalgama vieja debería retenerse y separarse de forma eficaz, y enviarse posteriormente para recuperar el contenido de mercurio. En la Recomendación PARCOM 93/2 sobre nuevas restricciones sobre la descarga de mercurio procedente de la odontología (*PARCOM Recommendation 93/2 on Further Restrictions on the Discharge of Mercury from Dentistry*) se establece que, a partir del 1º de enero de 1997, deberían instalarse equipos para separar el agua y la amalgama a fin de permitir recoger esta última.

888. **El mercurio en las baterías.** En la Decisión PARCOM 90/2 sobre programas y medidas para las baterías que contienen mercurio y cadmio (*PARCOM Decision 90/2 on Programmes and Measures for Mercury and Cadmium-Containing Batteries*) se establecen diversas medidas que tratan de la recuperación, la eliminación y la comercialización y uso de determinadas baterías de mercurio y cadmio.

889. **Plaguicidas que contienen mercurio.** En la Recomendación PARCOM 89/3 se proponen también medidas para restringir la utilización de biocidas y plaguicidas que contienen mercurio.

890. **Instrumentos y equipos eléctricos de control industrial, de laboratorio y médico.** En la Recomendación PARCOM 89/3 se proponen asimismo medidas para reciclar el mercurio utilizado en dichos equipos y se insta a la utilización de equipos que no contienen mercurio, siempre y cuando la sustitución resulte posible con costos comparables. Algunas Partes han puesto en marcha medidas para, por ejemplo, limitar la utilización de termómetros de mercurio, fomentar la evolución de las lámparas con bajo contenido de mercurio y establecer sistemas de reciclado y recogida especial.



### 9.3.3 Convenio para la Protección del Medio Ambiente Marino de la Zona del Mar Báltico (Convenio de Helsinki)

891. El Convenio de Helsinki para la Protección del Medio Ambiente Marino de la Zona del Mar Báltico, adoptado el 9 de abril de 1992, tiene como objetivos tomar todas las medidas oportunas, de forma individual o mediante la cooperación regional, para prevenir y suprimir la contaminación a fin de promover la restauración ecológica de la zona del mar Báltico y la conservación de su equilibrio ecológico.

892. En el Convenio se establecen principios y obligaciones fundamentales, tal y como se expone en el artículo 3, conforme a los cuales las Partes se obligan a:

- Tomar todas las medidas legislativas, administrativas o de otro tipo pertinentes para prevenir y eliminar la contaminación con el fin de impulsar la restauración ecológica de la zona del mar Báltico y la protección de su equilibrio ecológico;
- Aplicar los principios de precaución;
- Fomentar la utilización de la mejor práctica ambiental y la mejor tecnología disponible;
- Aplicar el principio de quien contamina, paga;
- Garantizar que las mediciones y cálculos de emisiones desde fuentes puntuales se realizan de una manera científica adecuada con objeto de evaluar el estado del medio marino y asegurar la aplicación del Convenio; y
- Hacer todo posible para garantizar que la aplicación del Convenio no tenga como consecuencia la contaminación transfronteriza en zonas fuera de la zona del mar Báltico, ni provoque tensiones inaceptables en el medio ambiente o un aumento del riesgo para la salud humana.

#### Regiones cubiertas y entrada en vigor

893. El Convenio de Helsinki está limitado a los Estados y la Comunidad Europea que participaron en la Conferencia de Helsinki de 1992 y que han ratificado el Convenio. Otros Estados pueden formar parte del Convenio por invitación de todas las Partes. El Convenio abarca el mar Báltico y la entrada al mar Báltico y las cuencas vertientes de estas aguas. Se incluyen las aguas interiores.

894. El Convenio de Helsinki de 1992 sustituye al Convenio de 1974 para la Protección del Medio Marino de la Zona del Mar Báltico. Entró en vigor el 17 de enero de 2000. En octubre de 2002 había 10 Partes en el Convenio de Helsinki (Alemania, Comunidad Europea, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Letonia, Lituania, Polonia, Rusia y Suecia).

895. El órgano rector del Convenio es la Comisión de Helsinki – Comisión para la Protección del Medio Marino del Báltico (Baltic Marine Environment Protection Commission, HELCOM). La Comisión de Helsinki (HELCOM, por su nombre en inglés) se reúne de forma anual, y en ocasiones se celebran reuniones de carácter ministerial.

#### Estrategia de la HELCOM para llevar a cabo su objetivo en relación con las sustancias peligrosas y su pertinencia con respecto al mercurio

896. En 1998, la Comisión de Helsinki (HELCOM) estableció un objetivo respecto a las sustancias peligrosas y una estrategia para su aplicación, a través de la adopción de la recomendación HELCOM 19/5. El objetivo es prevenir la contaminación de la zona del Convenio reduciendo las descargas, emisiones y pérdidas de sustancias peligrosas para lograr el objetivo de su cese antes del año 2020, con el propósito último de conseguir concentraciones en el medio cercanas a los valores de fondo para sustancias de origen natural y cercanas a cero para sustancias sintéticas artificiales. La HELCOM ha seleccionado hasta el momento un total de 42 sustancias químicas, entre las que figuran el mercurio y sus compuestos, para una acción inmediata prioritaria.

897. La HELCOM ha adoptado una serie de recomendaciones relativas específicamente al mercurio:

- Recomendación 6/4 de la HELCOM (adoptada el 13 de marzo de 1985): Recomendación relativa a medidas dirigidas a la reducción de mercurio procedente de la odontología.

- Recomendación 13/4 de la HELCOM (adoptada el 5 de febrero de 1992, en revisión): Contaminación atmosférica relacionada con la utilización de material de chatarra en la industria del hierro y el acero.
- Recomendación 14/5 de la HELCOM (adoptada el 3 de febrero de 1993, en revisión): Reducción de emisiones difusas procedentes de baterías usadas que contienen metales pesados (mercurio, cadmio, plomo).
- Recomendación 16/8 de la HELCOM (adoptada el 15 de marzo de 1995): Limitación de emisiones en la atmósfera y descargas en el agua procedentes de la incineración de desechos domésticos
- Recomendación 17/6 de la HELCOM (adoptada el 12 de marzo de 1996): Reducción de la contaminación derivada de descargas en el agua, emisiones en la atmósfera y fosfoyeso procedente de la producción de fertilizantes
- Recomendación 18/2 de la HELCOM (adoptada el 12 de marzo de 1997): Actividades mar adentro.
- Recomendación 19/5 de la HELCOM (adoptada el 26 de marzo de 1998): Objetivo de la HELCOM en relación con las sustancias peligrosas.
- Recomendación 23/4 de la HELCOM (adoptada el 6 de marzo de 2002, sustituye a la 18/5): Medidas dirigidas a la reducción de la contaminación de mercurio derivada de fuentes de luz y equipos eléctricos
- Recomendación 23/6 de la HELCOM (adoptada el 6 de marzo de 2002, sustituye a la 6/3): Reducción de emisiones y descargas de mercurio procedentes de la industria cloroalcalina.
- Recomendación 23/7 de la HELCOM (adoptada el 6 de marzo de 2002, sustituye a la 16/6): Reducción de descargas y emisiones derivadas del tratamiento de superficies metálicas.
- Recomendación 23/11 de la HELCOM (adoptada el 6 de marzo de 2002, sustituye a la 20E/6): Requisitos para la descarga de aguas residuales procedentes de la industria química.
- Recomendación 23/12 de la HELCOM (adoptada el 6 de marzo de 2002, sustituye a la 16/10): Reducción de descargas y emisiones procedentes de la producción de textiles.

898. La estrategia de la HELCOM para las sustancias peligrosas, incluido el mercurio, discurre en muchos aspectos en paralelo a la labor realizada dentro del contexto del Convenio OSPAR.

### **9.3.4 Convenio de Basilea sobre el Control de Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación (Convenio de Basilea)**

899. El Convenio de Basilea sobre el Control de Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, adoptado el 22 de marzo de 1989, reglamenta de forma rigurosa los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y establece obligaciones para sus Partes con objeto de garantizar que estos desechos se gestionen y eliminen de forma racional desde el punto de vista ambiental. Los principios básicos del Convenio de Basilea son:

- los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos deben reducirse a un mínimo compatible con su gestión racional desde el punto de vista ambiental;
- la generación de desechos peligrosos debe reducirse y minimizarse;
- los desechos peligrosos deben tratarse y eliminarse lo más cerca posible de su fuente de generación; y
- deben hacerse esfuerzos por ayudar a los países en desarrollo y de economías en transición en la gestión racional desde el punto de vista ambiental de los desechos peligrosos y otros desechos que generan.

900. El Convenio de Basilea ofrece un marco general para garantizar la gestión racional desde el punto de vista ambiental de los desechos peligrosos, lo que incluye un régimen de control para supervisar y controlar los movimientos transfronterizos de estos desechos. Entre las restricciones impuestas a los movimientos transfronterizos figura la prohibición de envíos a Estados que no sean Partes, y la necesidad de recibir una confirmación escrita por parte de las autoridades pertinentes del país de importación de la aceptación de la misma.

901. En septiembre de 1995 se adoptó una decisión para enmendar el Convenio a fin de prohibir las exportaciones de desechos peligrosos para su eliminación final, recuperación o reciclado de países incluidos en un nuevo anexo VII (Partes y otros Estados que son miembros de la OCDE, la CE, Liechtenstein) a países que no figuren en el anexo VII.

### **Regiones cubiertas y entrada en vigor**

902. El Convenio de Basilea está abierto a todo Estado y organización de integración económica regional y/o política.

903. El Convenio entró en vigor el 5 de mayo de 1992. A 25 de septiembre de 2002 hay 152 Partes en el Convenio (véase <http://www.basel.int> para conocer las Partes) y 32 Partes han ratificado la enmienda, que requiere 62 ratificaciones para su entrada en vigor.

904. La Conferencia de las Partes (COP, por su nombre en inglés) es el órgano rector del Convenio de Basilea. Se han establecido órganos subsidiarios, como el Grupo de Trabajo Técnico responsable de la preparación de directrices técnicas para la gestión racional desde el punto de vista ambiental de los desechos peligrosos, la clasificación y la caracterización como peligrosos de desechos y otras tareas. Otro órgano subsidiario es el Grupo de Trabajo Jurídico que se ocupa de los asuntos legales como los relacionados con el tráfico ilegal, los acuerdos bilaterales y multilaterales, la solución de controversias, la vigilancia del cumplimiento y responsabilidad, e indemnizaciones por daños y perjuicios derivados de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación. En la quinta reunión de la Conferencia de las Partes se estableció también un Grupo de Trabajo para la Aplicación destinado a vigilar la aplicación del Convenio.

### **Pertinencia del Convenio de Basilea con respecto al mercurio**

905. Conforme al apartado a) del párrafo 1 del artículo 1 del Convenio, los desechos que contengan mercurio o estén contaminados por mercurio o sus compuestos se consideran desechos peligrosos y están incluidos en las disposiciones del Convenio.

906. Más concretamente, en el anexo VIII figura una lista de los desechos caracterizados como desechos peligrosos en virtud del artículo 1.1 a) del Convenio de Basilea, sin excluir la aplicación del anexo III (lista de características peligrosas) para demostrar que un desecho no es peligroso. Los desechos peligrosos que contienen mercurio pueden encontrarse en las siguientes categorías del anexo VIII (la lista que figura a continuación no pretende ser exhaustiva):

- A1010 – Desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones de cualquiera de las sustancias siguientes: (...), mercurio, (...);
- A1030 – Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes cualquiera de las sustancias siguientes: (...), mercurio; compuestos de mercurio, (...);
- A1150 – Cenizas de metales preciosos procedentes de la incineración de circuitos impresos no incluidos en la lista B;
- A1180 – Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de éstos que contengan componentes como acumuladores y otras baterías, incluidos en la lista A, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y condensadores de BPC, o contaminados con constituyentes del anexo I (p. ej., cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado) en tal grado que posean alguna de las características del anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B1110);
- A4020 – Desechos clínicos y afines; es decir, desechos resultantes de prácticas médicas, de enfermería, dentales, veterinarias o actividades similares, y desechos generados en hospitales u otras instalaciones durante actividades de investigación o el tratamiento de pacientes, o de proyectos de investigación.

### **Obligaciones del Convenio de Basilea aplicables a los desechos que contienen mercurio**

907. Los movimientos transfronterizos de desechos que contienen mercurio que puedan considerarse dentro del ámbito de aplicación del Convenio de Basilea necesitarían controlarse conforme a las

obligaciones del Convenio. Esto se aplica a desechos peligrosos que contienen mercurio que son exportados para su reutilización, recuperación, reciclado y/o su eliminación final.

908. Además, las obligaciones generales del Convenio de Basilea relativas a la necesidad de gestionar los desechos peligrosos de forma racional desde el punto de vista ambiental se aplicarían a estos desechos, incluidos los que no se envían fuera para operaciones de recuperación o eliminación, sino que requieren gestionarse localmente (entre los ejemplos figuran desechos peligrosos procedentes de procesos cloroalcalinos, la minería de oro, la eliminación de equipos obsoletos, etc.).

### **9.3.5 Convenio de Róterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo aplicable a ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos objeto de Comercio Internacional (Convenio de Róterdam)**

909. Los objetivos del Convenio de Róterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional, adoptados el 10 de septiembre de 1998, son:

- Promover la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de las Partes en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños; y
- Contribuir a la utilización racional desde el punto de vista ambiental de esos productos químicos peligrosos, facilitando el intercambio de información acerca de sus características, estableciendo un proceso nacional de adopción de decisiones sobre su importación y exportación, y difundiendo esas decisiones a las Partes.

910. En el Convenio se establece el principio de que la exportación de un producto químico sujeto al régimen del Convenio puede efectuarse solamente con el consentimiento fundamentado previo de la parte importadora. El Convenio establece procedimientos para obtener y difundir formalmente las decisiones de países importadores sobre si desean recibir futuros envíos de productos químicos específicos y para garantizar el cumplimiento de estas decisiones por parte de los países exportadores. El Convenio contiene también disposiciones relativas al intercambio de información entre las Partes sobre productos químicos potencialmente peligrosos que puedan ser exportados o importados.

911. En el Convenio se establece un procedimiento específico para identificar e incluir productos químicos, basado en medidas tomadas por las Partes para prohibir o restringir de forma rigurosa la utilización de un plaguicida o producto químico industrial o por una Parte que experimenta problemas con una fórmula plaguicida extremadamente peligrosa en condiciones de uso. De entrada, el Convenio se aplica a 22 plaguicidas (incluidas cinco fórmulas plaguicidas extremadamente peligrosas) y cinco productos químicos industriales, pero se prevé que se incluyan muchos más en el futuro.

912. Para cada producto químico sujeto al Convenio se distribuye a los países importadores un “documento de orientación para la adopción de decisiones” que contiene información sobre el producto químico y las decisiones reglamentarias de prohibirlo o restringirlo rigurosamente por razones sanitarias o ambientales, así como información sobre alternativas. Estos países tienen un plazo de nueve meses para preparar una respuesta en relación con la futura importación del producto químico. La respuesta puede consistir en una decisión definitiva (permitir la importación del producto químico, no permitirla, o permitirla ateniéndose a determinadas condiciones) o bien en una respuesta provisional. Las decisiones de los países importadores deben prescindir de toda consideración comercial (es decir, aplicarse igualmente a la producción nacional y a las importaciones).

913. Las decisiones de las Partes que son países importadores se difunden con carácter semestral a través de una Circular de Consentimiento Fundamentado Previo, y las Partes que son países exportadores están obligadas en virtud del Convenio a tomar medidas adecuadas para garantizar que los exportadores dentro de su jurisdicción cumplen con dichas decisiones.

### **Regiones cubiertas y entrada en vigor**

914. El Convenio de Róterdam está abierto a todo Estado y organización de integración económica regional. Se basa en el procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (CFP) voluntario ya existente, aplicado por el PNUMA y la FAO desde 1989, y tiene en cuenta la experiencia adquirida durante la aplicación del procedimiento voluntario (según lo establecido en las Directrices de Londres para el intercambio de información acerca de productos químicos objeto de comercio internacional y el Código internacional de conducta de la FAO para la distribución y utilización de plaguicidas).

915. El Convenio entrará en vigor el nonagésimo día después de la fecha en que se deposite el quincuagésimo instrumento de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión ante el depositario. A 23 de octubre de 2002 en el Convenio había 34 Partes (Alemania, Arabia Saudita, Austria, Bélgica, Bulgaria, Camerún, Canadá, El Salvador, Emiratos Árabes Unidos, Eslovenia, Gambia, Guinea, Hungría, Italia, Jamahiriya Árabe Libia, Jamaica, Jordania, Kirguistán, Luxemburgo, Malasia, Mongolia, Países Bajos, Nigeria, Noruega, Omán, Panamá, República Checa, República Unida de Tanzania, Samoa, Senegal, Sudáfrica, Surinam, Suiza, Tailandia). Aún no ha entrado en vigor.

916. En el Convenio se establece una Conferencia de las Partes (COP, por su nombre en inglés) con la función de supervisar la aplicación y un Comité de Examen de Productos Químicos encargado de examinar las notificaciones y propuestas de las Partes y formular recomendaciones sobre los productos químicos que deberían incluirse en el Convenio. También establece una Secretaría, cuyas funciones han de ejercer conjuntamente el PNUMA y la FAO.

917. Durante el período provisional antes de la entrada en vigor del Convenio, los gobiernos participantes aplicarán sus disposiciones de forma voluntaria. El Comité Intergubernamental de Negociación que negoció el Convenio supervisará la aplicación del procedimiento de CFP provisional, incluida la inclusión de nuevos productos químicos con carácter provisional. El Comité Intergubernamental de Negociación decidirá, en su primera reunión, la inclusión en el Convenio de productos químicos que hayan sido añadidos al procedimiento del CFP durante el período provisional.

### **Pertinencia del Convenio de Róterdam con respecto al mercurio**

918. Las disposiciones del Convenio de Róterdam se aplican a dos categorías de productos químicos: plaguicidas y/o productos químicos industriales. En la actualidad, los compuestos inorgánicos de mercurio, los compuestos alquílicos de mercurio, los compuestos alcoxialquílicos y arílicos de mercurio empleados como plaguicidas están incluidos en el Convenio. No se aplica a los compuestos de mercurio si están destinados a uso industrial. En el Convenio no se hacen recomendaciones específicas respecto a la reducción o eliminación del uso de estos compuestos de mercurio como plaguicidas. Sin embargo, garantiza que no hay comercio internacional si una Parte importadora decide prohibir la utilización de estos compuestos como plaguicidas en el país.

### **9.3.6 Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (Convenio de Estocolmo)**

919. El objetivo del Convenio de Estocolmo, adoptado el 22 de mayo de 2001, es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes, teniendo presente el criterio de precaución consagrado en el principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

920. El Convenio crea obligaciones jurídicamente vinculantes para que las Partes prohíban y/o adopten las medidas jurídicas y administrativas que sean necesarias para eliminar la producción y utilización de nueve contaminantes orgánicos persistentes (aldrina, clordano, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, BPC y toxafeno) y restringir la producción y utilización de DDT. Además, las Partes se obligan a tomar medidas para reducir las liberaciones procedentes de fuentes antropógenas de dioxinas, furanos, BPC y HCB, con el fin de reducir al mínimo y, en los casos en que sea viable, eliminar definitivamente estos contaminantes orgánicos persistentes. Las Partes deberían también tomar medidas para reducir y eliminar las liberaciones derivadas de existencias y desechos. Además, el Convenio establece un registro de exenciones específicas de los países.

921. El Convenio comprende plaguicidas, productos químicos industriales y subproductos que comparten las características de los contaminantes orgánicos persistentes, es decir, persistencia, bioacumulación, potencial de transporte a larga distancia y toxicidad. De entrada, se han seleccionado 12 sustancias químicas. En el Convenio figuran disposiciones para incluir sustancias a través de un procedimiento por etapas iniciado por una Parte que presente una propuesta para incluir una sustancia. La sustancia candidata se selecciona primero conforme a los criterios acordados y posteriormente es evaluada más detenidamente por un órgano subsidiario, el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes. El Comité de Examen hace una recomendación a la Conferencia de las Partes, que decide si se incluye o no la sustancia.

922. En el anexo D del Convenio se establecen los criterios de selección sobre los que debe basarse una decisión de incluir un producto químico. Entre los criterios figuran la persistencia, la bioacumulación, el potencial de transporte a larga distancia en el medio ambiente, pruebas de efectos adversos para la salud humana o el medio ambiente, datos de toxicidad o ecotoxicidad que indiquen el potencial de daño para la salud humana o para el medio ambiente, y la necesidad de un control mundial.

### **Regiones cubiertas y entrada en vigor**

923. El Convenio de Estocolmo está abierto a todo Estado y organización de integración económica regional.

924. El Convenio entrará en vigor el nonagésimo día a partir de la fecha en que haya sido depositado el quincuagésimo instrumento de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión ante el depositario. A 4 de octubre de 2002 había en el Convenio 23 Partes (Alemania, Austria, Botsuana, Canadá, Emiratos Árabes Unidos, Eslovaquia, Fiji, Finlandia, Islandia, Japón, Lesotho, Liberia, Nauru, Noruega, Países Bajos, República Checa, República Democrática Popular de Corea, Ruanda, Samoa, Santa Lucía, Sudáfrica, Suecia, Vietnam). Aún no ha entrado en vigor.

925. En el Convenio se establece una Conferencia de las Partes (COP, por su nombre en inglés) encargada de examinar la aplicación y un Comité de Examen de Contaminantes Orgánicos Persistentes que examinará las propuestas de las Partes para la inclusión de sustancias en el Convenio. Éste establece asimismo una Secretaría, cuyas funciones serán desempeñadas por el PNUMA.

926. Durante el período provisional antes de la entrada en vigor del Convenio, el Comité Intergubernamental de Negociación (INC, por su nombre en inglés) que adoptó el Convenio seguirá reuniéndose para examinar la aplicación durante el período provisional y preparar la primera Conferencia de las Partes. Durante el período provisional se centrará la atención en las actividades que faciliten una rápida entrada en vigor y la aplicación eficaz del Convenio.

### **Pertinencia del Convenio de Estocolmo con respecto al mercurio**

927. El mercurio no figura entre los productos químicos cubiertos por el Convenio de Estocolmo, según lo adoptado. Durante el período provisional antes de la entrada en vigor del Convenio, se ha instado a los Estados a hacer una labor preparatoria para incluir sustancias adicionales en el Convenio. Sin embargo, el órgano subsidiario que hará recomendaciones a la Conferencia de las Partes sobre la inclusión o no de una sustancia, no se pondrá en marcha hasta que el Convenio entre en vigor. Así pues, sólo se incluirán nuevos productos químicos una vez haya entrado en vigor el Convenio.

### **9.3.7 Referencias principales para esta sección**

928. Las referencias principales utilizadas en esta sección son, además de las presentadas por las organizaciones:

- Sitio web de la CEPE- [http://www.unece.org/env/lrtap/hm\\_h1.htm](http://www.unece.org/env/lrtap/hm_h1.htm);
- Sitio web del EMEP - <http://www.emep.int/index.html>;
- Sitio web del Centro de Coordinación de Efectos (CCE) - <http://www.rivm.nl/cce/>;
- Sitio web de la Comisión OSPAR en <http://www.ospar.org>, OSPAR Commission (2000): *OSPAR Background Document on Mercury and Organic Mercury Compounds*;

- Decisiones PARCOM en <http://www.ospar.org/eng/html/welcome.html>;
- Sitio web de la HELCOM – <http://www.helcom.fi>,  
Recomendaciones - <http://www.helcom.fi/helcom/recommendations.html>;
- Sitio web del Convenio de Basilea – <http://www.basel.int>;
- Sitio web del Convenio de Róterdam – <http://www.pic.int>;
- Sitio web del Convenio de Estocolmo – <http://www.pops.int>.

## 9.4 Programas y organizaciones internacionales

929. Una serie de programas y organizaciones internacionales cuentan también con actividades dirigidas a tratar los efectos adversos del mercurio en la salud y el medio ambiente. En la tabla 9.4 se muestra un panorama general de estos programas y organizaciones internacionales. En las siguientes secciones se exponen resúmenes de los programas y organizaciones y su pertinencia con respecto al mercurio. La descripción general de cada organización o programa se ha tomado fundamentalmente del PNUMA (UNEP, 2001).

Tabla 9.4 – Panorama general de los programas y organizaciones internacionales con actividades relacionadas con los efectos adversos del mercurio en la salud y el medio ambiente.

Sección	Programa u organización internacional	Regiones cubiertas	Pertinencia de la organización o programa con respecto al mercurio	Tipos de actividades relacionadas con el mercurio
9.4.1	IARC	Mundial	Trata de la evaluación del riesgo carcinógeno de sustancias químicas, incluido el mercurio, para los humanos	Evaluaciones sobre las distintas sustancias químicas, información, directrices
9.4.2	OIT	Mundial	Trata de cuestiones sobre la salud y seguridad laboral relacionadas con la utilización de sustancias químicas, incluidas actividades de minería en pequeña escala y el mercurio	Información, directrices, mejora de la capacidad
9.4.3	IPCS	Mundial	Trata de aspectos del mercurio relativos a la salud y al medio ambiente (incluye el mercurio inorgánico y el metilmercurio)	Información (evaluaciones de riesgos, datos científicos e información preventiva)
9.4.4	OCDE	Estados miembros de la OCDE	Trata del mercurio y los compuestos del mercurio en liberaciones, productos, desechos, etc.	Información, recomendaciones
9.4.5	PNUMA PAM	Mundial	Trata de los metales pesados, incluido el mercurio	Definición de objetivos, directrices
9.4.6	ONUDI	Mundial	Trata las actividades industriales sostenibles desde el punto de vista ambiental, incluida la minería artesanal	Información, directrices, mejora de la capacidad
9.4.7	Banco Mundial	Mundial	Aborda actividades industriales sostenibles desde el punto de vista ambiental, incluida la minería artesanal	Información, directrices, mejora de la capacidad

### 9.4.1 Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC)

930. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (*IARC*, por su nombre en inglés) forma parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Su misión es coordinar y llevar a cabo investigaciones sobre las causas del cáncer humano, los mecanismos de la carcinogénesis, y formular estrategias científicas para el control del cáncer. El Centro participa tanto en investigaciones epidemiológicas como en laboratorio y difunde información científica a través de publicaciones, reuniones, cursos y becas. La labor de este Centro tiene cuatro objetivos principales: observar la presencia del cáncer en todo el mundo, determinar las causas del cáncer, aclarar los mecanismos de la carcinogénesis y elaborar estrategias científicas para el control del cáncer. Un aspecto importante de la labor del *IARC* es la publicación de la serie de Monografías del *IARC* (*IARC Monographs series*). Las monografías son evaluaciones independientes autorizadas realizadas por expertos internacionales sobre el riesgo carcinógeno que diversos agentes, mezclas y exposiciones suponen para los seres humanos.

Desde su comienzo en 1972, la serie ha examinado más de 860 agentes y las monografías son muy conocidas por su exhaustividad, precisión e integridad. Son una fuente de información inestimable tanto para investigadores como para autoridades nacionales e internacionales.

931. Las monografías representan el primer paso en la evaluación de los riesgos carcinógenos, lo que implica el análisis de toda la información pertinente a fin de evaluar la solidez de las pruebas disponibles de que determinadas exposiciones podrían alterar la incidencia del cáncer en los seres humanos. El segundo paso es la estimación cuantitativa de los riesgos. En las monografías pueden realizarse evaluaciones detalladas y cuantitativas de datos epidemiológicos, pero sin extrapolarse fuera del alcance de los datos disponibles. Las monografías pueden ayudar a autoridades nacionales e internacionales en la realización de evaluaciones de riesgos y en la formulación de decisiones relativas a las medidas preventivas necesarias. Las evaluaciones de grupos de trabajo del *IARC* son juicios científicos y cualitativos sobre los indicios a favor o en contra de la carcinogenicidad que ofrecen la información disponible. Estas evaluaciones representan sólo una parte del cuerpo de información en el que pueden basarse las medidas reguladoras. Otros componentes de decisiones reguladoras podrían variar de una situación a otra y entre los países, respondiendo a las distintas prioridades socioeconómicas y nacionales. Por ello, no se ofrecen recomendaciones con respecto a la reglamentación o legislación, que son responsabilidad de cada gobierno y/o demás organizaciones internacionales.

932. En 1993 el *IARC* publicó el volumen 53 de las monografías del *IARC*, que también trataba del mercurio y sus compuestos. En su evaluación general de la carcinogenicidad para los seres humanos, los compuestos de metilmercurio se clasificaban en el grupo 2B (puede ser carcinógeno para los seres humanos) y los compuestos de mercurio metálico y mercurio inorgánico figuraban en el grupo 3 (no clasificables en cuanto a carcinogenicidad para los seres humanos) (*IARC*, 1993).

#### 9.4.2 Organización Internacional del Trabajo (OIT)

933. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) se fundó en 1919 y es el organismo especializado de Naciones Unidas que procura fomentar la justicia social y los derechos humanos y laborales internacionalmente reconocidos. Dentro del sistema de las Naciones Unidas, la OIT es la única organización que cuenta con una estructura tripartita en la que los trabajadores y los empleadores participan en pie de igualdad con los gobiernos en las labores de sus órganos de administración. La OIT formula normas internacionales del trabajo, que revisten la forma de convenios y recomendaciones, por las que se fijan unas condiciones mínimas en materia de derechos laborales fundamentales. Presta asistencia técnica en una serie de campos, entre los que figura la seguridad y la salud laboral. Fomenta el desarrollo de organizaciones independientes de trabajadores y empleadores, a las que ofrece servicios de capacitación y asesoramiento.

934. En relación con la seguridad química, el objetivo a largo plazo de la OIT es mejorar la capacidad de las instituciones gubernamentales, empleadores, trabajadores y sus organizaciones representantes, así como de las organizaciones no gubernamentales, para que puedan participar en el diseño, la aplicación y la evaluación de políticas y programas destinados a mejorar las condiciones y el entorno de trabajo y reducir el número de accidentes laborales y enfermedades relacionadas con éste. En materia de control de productos químicos ha habido una serie de convenios, recomendaciones y material de asesoramiento, entre los que figuran el Convenio sobre la prevención de accidentes industriales mayores (*Convention concerning the Prevention of Major Industrial Accidents, No. 174*) y la recomendación que lo acompaña (n.º 181), adoptado en 1993, así como el Convenio sobre seguridad en la utilización de sustancias químicas en el trabajo (*Convention concerning Safety in the Use of Chemicals at Work, No. 170*) y la recomendación que lo acompaña (n.º 177), adoptado en 1990. La finalidad del último Convenio es proteger a los trabajadores de los riesgos asociados con la utilización de productos químicos en su lugar de trabajo. El Convenio establece las responsabilidades de los empleadores, los proveedores y los trabajadores. Se pide a los Estados que ratifican el Convenio que elaboren una política nacional para la seguridad a la hora de utilizar productos químicos en el trabajo conforme a determinados principios, que adopten sistemas de clasificación y etiquetado para dichas sustancias y que introduzcan fichas toxicológicas de sustancias químicas.



935. Entre otras normas y documentos de orientación relacionados con la seguridad química figuran una serie de convenios y recomendaciones que tratan de los riesgos de sustancias tóxicas específicas, como, por ejemplo, el asbesto, la cerusa y el benceno. Además, la OIT ha publicado los Límites de exposición profesional a sustancias en el aire nocivas para la salud: Un Código de Práctica (*Exposure Limits For Airborne Substances Harmful to Health: A Code of Practice, 1991*) y Directrices relativas a los sistemas de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo (*Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems, 2001*).

936. La OIT también lleva a cabo actividades en el campo de la minería en pequeña escala y sobre la manera de apoyarla de la mejor forma posible como actividad segura, saludable, productiva y sostenible. En 1999 publicó un informe titulado “Los problemas sociales y laborales en las explotaciones mineras pequeñas”, que gira en torno a algunos de los principales problemas dentro de esta actividad. El primer capítulo presenta la situación, poniendo la minería en pequeña escala en contexto en cuanto a producción y empleo, y aborda los problemas en términos generales. Los capítulos siguientes sobre seguridad y salud laboral, las mujeres en la minería y el trabajo infantil ilustran algunos de los problemas que existen y se están tratando. Aunque el informe trata sobre todo de problemas sociales y laborales de una manera más general, la utilización de mercurio en la minería en pequeña escala se pone de relieve como un problema importante en la producción de oro. El informe presenta ejemplos de cómo se tratan o podrían tratarse algunos de los problemas. A la hora de debatir y aclarar el papel de los gobiernos, los copartícipes sociales y la OIT, se espera que el perfil de la minería en pequeña escala dentro de la OIT y entre los colaboradores sociales se incremente, lo que provocaría un aumento de la asistencia a la hora de proporcionar los medios para la minería en pequeña escala que garanticen un empleo seguro y productivo. Este deseo contribuye sin duda a lograr un aumento de la productividad y la remuneración, una mejora de las condiciones laborales y de la salud y seguridad, una mejora de la gestión de recursos y una disminución de su incidencia en el medio ambiente.

#### 9.4.3 Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPCS)

937. El Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (*IPCS*, por su nombre en inglés) fue creado en 1980 como programa conjunto de la OMS, la OIT y el PNUMA a fin de ofrecer dictámenes evaluados internacionalmente de los riesgos causados por las sustancias químicas a la salud humana y el medio ambiente. Los países pueden utilizarlo en la elaboración de sus propias medidas de seguridad química y para reforzar los medios nacionales de prevención y tratamiento de los efectos nocivos de las sustancias químicas, así como para la gestión de los aspectos en materia de salud de las emergencias químicas.

938. La evaluación de los riesgos químicos para la salud humana y el medio ambiente, y la elaboración y publicación de documentos sobre los riesgos para la salud y el medio ambiente de sustancias químicas específicas, es una cuestión central de la labor del *IPCS*. Los documentos, elaborados por expertos reconocidos internacionalmente y examinados por expertos independientes de gran prestigio, están concebidos para que los utilicen lectores con diferentes niveles de conocimientos técnicos e incluyen lo siguiente:

- Monografías sobre criterios de salud ambiental (*EHC*, por su nombre en inglés). Documentos exhaustivos concebidos para expertos científicos responsables de la evaluación de los riesgos que entrañan las sustancias químicas;
- Documentos abreviados de evaluación internacional de productos químicos (*CICAD*). Documentos concisos que ofrecen resúmenes de la información científica pertinente relativa a los posibles efectos de las sustancias químicas en la salud humana y/o el medio ambiente;
- Guías sobre salud y seguridad (*HSG*, por su nombre en inglés). Ofrecen información concisa para los responsables de tomar decisiones sobre los riesgos de la exposición a sustancias químicas, con recomendaciones prácticas sobre cuestiones médicas y administrativas; y
- Fichas internacionales de seguridad química (*ICSC*, por su nombre en inglés). Resumen información sobre salud y seguridad para individuos en el lugar de trabajo, incluidos síntomas de envenenamiento, procedimientos de seguridad y primeros auxilios;
- Fichas de datos sobre plaguicidas. Contienen información básica para su utilización sin riesgo.

939. El *IPCS* ha publicado los siguientes documentos relativos al mercurio:

- *EHC 1 (1976): Mercury* (sobre el mercurio);
- *EHC 86 (1989); Mercury – environmental aspects* (aspectos ambientales del mercurio);
- *EHC 101 (1990); Methylmercury* (metilmercurio);
- *EHC 118 (1991); Mercury, inorganic* (compuestos inorgánicos de mercurio).

940. Además, el Grupo Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y Contaminantes evaluó el metilmercurio en 1999, y la evaluación se publicó en la *Serie de Informes Técnicos OMS 896*, pp. 87-93 (WHO, 2000). Todos estos documentos pueden obtenerse en el sitio web del *IPCS* en [http://www.who.int/pcs/pcs\\_pubs.html](http://www.who.int/pcs/pcs_pubs.html). El *IPCS* ha vuelto a evaluar recientemente los peligros para la salud y el medio ambiente del mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio en la serie *CICAD-* (WHO/IPCS, 2002). En este documento figura una evaluación de los peligros y riesgos de la exposición al mercurio de empastes con amalgama en los dientes y podrá obtenerse para su impresión en un futuro próximo en el sitio web anteriormente mencionado.

#### 9.4.4 Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE)

941. La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) es una organización intergubernamental que reúne a 30 países miembros en un foro que permite a los gobiernos comparar experiencias, debatir cuestiones de interés y buscar y elaborar soluciones que incluyen, si procede, medidas comunes o de cooperación. Los países miembros (de Europa, América del Norte, Asia y el Pacífico) comparten un compromiso con la economía de mercado, la democracia pluralista y el respeto a los derechos humanos. La misión fundamental de la OCDE es permitir a los Miembros consultar y cooperar unos con otros para alcanzar el mayor crecimiento económico sostenible posible, mejorar el bienestar económico y social de sus poblaciones, y contribuir al desarrollo en todo el mundo.

942. El Programa para el Medio Ambiente, uno de los muchos ámbitos de trabajo dentro de la OCDE, trata una amplia gama de cuestiones de interés para los países miembros. De especial interés para esta publicación es el Programa de Medio Ambiente, Salud y Seguridad, en el que figura el Programa de productos químicos, así como el trabajo sobre plaguicidas, accidentes químicos, la armonización del control regulador de la biotecnología, registros sobre emisiones y transferencia de contaminantes y seguridad alimentaria. Las principales actividades de los Programas de productos químicos son:

- Prestar asistencia a los países miembros para identificar, prevenir y gestionar los riesgos de las sustancias químicas;
- Promover el derecho del público a conocer los posibles riesgos de las sustancias químicas;
- Evitar distorsiones innecesarias en el comercio de sustancias químicas;
- Facilitar la utilización óptima de los recursos nacionales disponibles en el gobierno y la industria para la gestión de sustancias químicas;
- Ayudar a los países miembros a trabajar para lograr un método de gestión integrada de sustancias químicas que incluya aspectos económicos, sociales y ambientales, para apoyar el logro de los objetivos de desarrollo sostenible y, en concreto, de los del Programa 21 de la CNUMAD, Capítulo 19;
- Posibilitar que la globalización de la industria química cause efectos positivos sobre la salud humana y el medio ambiente en los países miembros de la OCDE, así como en países no pertenecientes a esta organización;
- Promover el desarrollo y la aplicación en países miembros de tecnologías, políticas y prácticas nuevas e innovadoras que eviten la contaminación derivada de la producción, el transporte, la utilización y la eliminación de sustancias químicas.

943. En 1973, el Consejo de la OCDE adoptó la Recomendación C (73) 172/Final sobre las Medidas para Reducir toda Emisión Antropógena de Mercurio al Medio Ambiente (*Recommendation C (73) 172/Final on Measures to Reduce all Man-Made Emissions of Mercury to the Environment*), en la que

se recomienda a todos los países miembros adoptar medidas para reducir las emisiones de origen humano de mercurio al medio ambiente a los niveles más bajos posibles. Las metas inmediatas fijadas fueron eliminar los compuestos de mercurio alquilo de la agricultura, eliminar los compuestos de mercurio de la utilización en la industria de la pasta y el papel, y reducir lo máximo posible las descargas de mercurio procedentes de plantas cloroalcalinas de mercurio. El Consejo también invitó a los países miembros a informar sobre las cantidades de mercurio utilizadas en los sectores agrícola e industrial y sobre el consumo total nacional.

944. En 1993 se celebró en Dinamarca un taller sobre la reducción de riesgos del mercurio para recopilar información pertinente y determinar posibles actividades futuras de gestión de riesgos. Basándose en las respuestas a un cuestionario, y en la documentación debatida en el taller, se publicó en 1994 una monografía sobre el mercurio titulada “Monografía sobre la reducción de riesgos n.º 4 – Antecedentes y experiencia nacional en la reducción de riesgos” (*Risk Reduction Monograph No. 4: Mercury – Background and National Experience with Reducing Risk*). Se ofrece un resumen de la información relativa a las liberaciones de mercurio en el medio ambiente, las consiguientes exposiciones ambientales y humanas, la forma en que los países miembros de la OCDE percibieron los riesgos relacionados con la exposición al mercurio y describe las medidas que los países miembros y la industria habían tomado, o habían considerado tomar, para reducir los riesgos asociados con la exposición al mercurio. En el documento se ofrece una instantánea de los conceptos más recientes relativos a las distintas actividades dentro del ámbito del consumo y contaminación de mercurio. Puede servir de ayuda para evaluar la eficacia de las estrategias nacionales de reducción de riesgos para el mercurio identificando tendencias comunes a la hora de establecer criterios, normas o políticas nacionales.

945. En 1996 los países miembros de la OCDE acordaron dejar de trabajar sobre el mercurio dentro del contexto de la OCDE.

#### **9.4.5 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades realizadas en Tierra (Programa de Acción Mundial)**

946. El Programa de Acción Mundial para la protección del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra (PAM) se adoptó en noviembre de 1995 en una conferencia intergubernamental en Washington, DC. Los 108 gobiernos y la Comisión Europea declararon su compromiso de preservar el medio marino e invitaron al PNUMA, al Banco Mundial, al PNUD, a los bancos de desarrollo regional y a todos los organismos del sistema de las Naciones Unidas a apoyar y potenciar estructuras regionales para la protección del medio marino. Se pidió al PNUMA que dirigiese los trabajos de coordinación y estableciese una oficina de coordinación del PAM.

947. El PAM trata de prevenir la degradación del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra facilitando el cumplimiento de la obligación de los Estados de preservar y proteger el medio marino. El programa ha sido concebido para ser una fuente de orientación conceptual y práctica que las autoridades nacionales y regionales puedan utilizar a la hora de formular y aplicar una medida sostenida para prevenir, reducir, controlar y/o eliminar la degradación marina debida a las actividades realizadas en tierra. De forma específica, el PAM pretende facilitar la identificación y evaluación de problemas, el establecimiento de prioridades de acción, la fijación de objetivos de gestión para problemas prioritarios, el establecimiento, evaluación y selección de estrategias y medidas, y la elaboración de criterios para evaluar la eficacia de estrategias y medidas.

948. El programa tiene una sección especial dedicada a recomendaciones relativas a los metales pesados, entre los que figura el mercurio. El objetivo o meta propuesta es reducir y/o eliminar las emisiones y descargas antropógenas a fin de prevenir, reducir y eliminar la contaminación causada por los metales pesados. Aunque no hay metas específicas fijadas con respecto al mercurio, el programa ofrece una orientación detallada sobre medidas posibles/propuestas en pos de la reducción de los efectos ambientales procedentes de metales pesados y otros contaminantes. Entre las actividades propuestas a escala nacional, regional e internacional figuran:

- El establecimiento de programas de evaluación y vigilancia;
- La elaboración de programas para las reducciones de emisiones (respetando el principio de precaución, las mejores técnicas disponibles, la mejor práctica ambiental, y el control y prevención integrada de la contaminación (*IPPC*, por su nombre en inglés);
- El establecimiento de programas de gestión de desechos;
- El fomento de tecnología más limpia y tecnología de control de emisiones;
- La ejecución de campañas de concienciación y actividades de información;
- La capacitación y refuerzo de la cooperación nacional e internacional; y
- La prestación de asistencia financiera y técnica a países con necesidades especiales.

949. La aplicación del PAM es principalmente una tarea de los Gobiernos, en estrecha colaboración con todos los interesados. El PNUMA y sus colaboradores facilitan y ayudan a los Gobiernos en sus cometidos.

#### **9.4.6 Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)**

950. La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) se creó en 1967 y desde 1985 ha sido una organización especializada de las Naciones Unidas dedicada a promover el desarrollo industrial sostenible en países en desarrollo y países con economías en transición. La ONUDI reúne a representantes de los gobiernos, de la industria y de los sectores público y privado, y ofrece un foro para examinar cuestiones relativas al desarrollo sostenible. La ONUDI también participa en la labor relativa a la gestión ambiental en distintos sectores industriales y a la vigilancia, tratamiento, reciclado y eliminación de desechos tóxicos y químicos peligrosos y la remediación de sitios contaminados.

951. Desde 1990 la ONUDI ha participado en el establecimiento de medidas para abordar los problemas complejos relativos a la minería artesanal del oro. Ha puesto en marcha una serie de proyectos concebidos para sustituir procesos con una alta descarga y consumo de mercurio por alternativas de extracción de oro seguras, rentables desde el punto de vista ambiental y de alto rendimiento, que reducen de forma notable o eliminan la utilización y descarga de mercurio. Se han llevado a cabo proyectos que ofrecen asistencia a la hora de evaluar y reducir la contaminación de mercurio procedente de la minería artesanal del oro en Ghana y la zona de Mindanao en Filipinas.

952. El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) que financia proyectos en países en desarrollo relacionados con cuestiones como el cambio climático, la diversidad biológica y las aguas internacionales, ha asignado a la ONUDI US\$350.000 para formular un plan de acción mundial para países situados en cuencas fluviales o lacustres transfronterizas de mayor importancia que afectan a las aguas internacionales con mercurio procedente de la minería artesanal. Participarán seis países de tres continentes: Brasil (río Amazonas), la República Democrática Popular de Laos (río Mekong), Indonesia (medio marino, sobre todo el mar de Java), Sudán (río Nilo), Tanzania (lago Victoria) y Zimbabwe (río Zambezi). El programa de acción mundial ONUDI-FMAM determinará las medidas que deberían tomarse a fin de eliminar los obstáculos para la introducción de tecnologías de minería artesanal de oro más limpias.

953. Como consecuencia, se ha elaborado un proyecto completo para ayudar a los gobiernos de seis países, a saber, Brasil, Indonesia, República Democrática Popular de Laos, Sudán, Tanzania y Zimbabwe, en donde las actividades de minería artesanal de oro amenazan las aguas internacionales con liberaciones de mercurio. El objetivo a largo plazo del proyecto es reducir al mínimo los efectos negativos para el medio ambiente causados por el sector de la minería artesanal. Esto se conseguirá ayudando a los países beneficiarios a promulgar un marco jurídico y elaborar reglamentos adecuados para el sector minero, así como elaborar estructuras institucionales. En concreto, el proyecto desarrollará las capacidades de los países beneficiarios para evaluar el alcance de la contaminación con mercurio de las actividades actuales, gestionar los mecanismos reguladores e introducir tecnologías más limpias de extracción y minería de oro que reduzcan al mínimo o eliminen las liberaciones de mercurio. Se están llevando a cabo proyectos individuales semejantes en el contexto de los programas nacionales

integrados de la ONUDI en Chad, Ghana, Indonesia, Malí, Mozambique, Níger, Filipinas, Venezuela y Vietnam.

#### 9.4.7 El Grupo del Banco Mundial

954. Fundado en 1944, el Grupo del Banco Mundial es una de las principales fuentes de asistencia para el desarrollo en el mundo. El Banco, que en el ejercicio económico 2001 suministró US\$17.300 millones en préstamos a sus países clientes, trabaja actualmente en más de 100 economías en desarrollo, ofreciendo una combinación de financiamiento e ideas para mejorar los niveles de vida y eliminar las peores formas de pobreza. Para cada cliente, el Banco trabaja con organismos gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y el sector privado a fin de formular estrategias de ayuda e incrementar el entendimiento de las cuestiones en materia de desarrollo.

955. El Banco Mundial busca nuevas iniciativas que garanticen que los beneficios de incorporar la sostenibilidad en todas sus actividades se perciban a escala mundial y a largo plazo. El 17 de julio de 2001 el Consejo del Banco Mundial aprobó una nueva estrategia ambiental, que hace hincapié en las prioridades de los países en desarrollo. Los objetivos de la estrategia son *mejorar la calidad de vida* —la salud de las personas, los medios de subsistencia y la vulnerabilidad afectada por las condiciones ambientales—; *mejorar la calidad del crecimiento* —apoyando marcos políticos, normativos e institucionales que favorezcan una gestión ambiental sostenible y fomentando el desarrollo privado sostenible—; y *proteger la calidad de los espacios públicos regionales e internacionales* como el cambio climático, los bosques, los recursos hídricos y la biodiversidad.

956. La cartera de proyectos del Banco Mundial con objetivos ambientales precisos asciende a US\$16.000 millones. Algunas de las actividades de importancia con respecto al mercurio son:

**Prevención y disminución de la contaminación en las actividades industriales**, que hace hincapié en la gestión ambiental integrada, y no simplemente en el control de la contaminación, y utiliza una amplia combinación de incentivos y presiones para conseguir mejoras ambientales sostenibles. El Banco ha publicado también un Manual de Prevención y Disminución de la Contaminación (*Pollution Prevention and Abatement Handbook*) (1998) al que se puede acceder a través de su sitio web.

**Minería en pequeña escala y artesanal sostenible desde el punto de vista ambiental**, que promueve la participación de las comunidades y grupos pertinentes a través de la información y la sensibilización, a la vez que se utiliza el marco jurídico y normativo, así como acuerdos directos con la compañía minera, para establecer un funcionamiento ambiental adecuado y condiciones de trabajo aceptables. Para mitigar los riesgos ambientales es fundamental establecer y supervisar normas oportunas.

957. Algunos proyectos que en la actualidad se encuentran en ejecución son:

- El Proyecto de la cuenca del río Liao (China) prestará asistencia para la recuperación ambiental y mejorará la gestión de la calidad de las aguas para un enfoque integrado de gestión de la cuenca hidrográfica en la provincia de Liaoning. Uno de los componentes del proyecto es la construcción de una instalación de producción de cloro, basada en una moderna tecnología de celda de membrana iónica. Se tendrán en cuenta medidas correctivas para recuperar el mercurio y se elaborará un plan para la demolición de la instalación de electrólisis de mercurio.
- El Proyecto ambiental urgente de inversión (Azerbaiyán) está encaminado a la acción directa en cuatro zonas identificadas en el Plan Nacional de Acción Ambiental de Azeri, que son de crucial importancia para la economía y el medio ambiente de Azerbaiyán. El proyecto tiene 5 componentes; el componente 2 demuestra tecnologías y procedimientos de limpieza de mercurio descontaminando una zona fuertemente contaminada. Prueba tratamientos piloto de lodos; elabora y aplica un método de baja tecnología para la recuperación del mercurio; transporta desechos; construye un vertedero nuevo y seguro; diseña y ejecuta un programa de vigilancia de las liberaciones de mercurio; y hace una evaluación ulterior.

- El Proyecto de Reforma del Sector de la Minería (Madagascar) a) completará las reformas del sector destinadas a establecer un ambiente favorable tanto para promover la inversión extranjera directa en la minería como para integrar actividades en pequeña escala y artesanales en la economía formal; b) fomentará la capacidad institucional para aplicar leyes y reglamentos, administrar títulos de minería, vigilar la evolución del sector, y poner información geológica a disposición de posibles inversionistas; c) establecerá capacidades en el país, a través de proyectos piloto, para determinar y abordar los efectos tanto ambientales como sociales derivados de la minería; y d) establecerá y adoptará los mecanismos apropiados para facilitar el desarrollo de minas en pequeña escala y mejorar las condiciones sociales, de bienestar, de salud y ambientales de los mineros artesanales.

958. El Banco Mundial fue asimismo el organizador de una reunión fundamental sobre la minería en pequeña escala y artesanal celebrada en 1995. Una de las conclusiones principales de esta conferencia fue la necesidad de soluciones integradas para los problemas del sector y la mejora de la cooperación entre las distintas instituciones. En nuevas reuniones convocadas por la ONUDI y la OIT, respectivamente, en las que participaron instituciones bilaterales y multilaterales, se reiteró la necesidad de un enfoque coordinado favorable al sector de la minería artesanal y en pequeña escala si quería avanzarse de forma importante. En respuesta a esto, el Banco Mundial elaboró una propuesta para establecer un Grupo Consultivo de la Minería Artesanal y en Pequeña Escala (*CASM*, por su nombre en inglés). La meta es establecer un foro que ofrezca un enfoque coordinado para evaluar y abordar algunos de los problemas con este subsector en oposición a un enfoque por partes. El *CASM* sería responsable de elaborar normas básicas, difundir mejores prácticas y experiencias, recaudar fondos y ejecutar el proyecto/programa. Examinaría y financiaría propuestas para la asistencia a sectores de la minería artesanal y en pequeña escala según criterios preestablecidos. En septiembre de 1999, se celebró un foro que reunió a donantes bilaterales y multilaterales, empresas privadas, ONG y reconocidos expertos para estudiar la posibilidad de establecer este Grupo Consultivo. El Banco trabaja actualmente, en consulta con los participantes, para hacer realidad esta propuesta.

#### 9.4.8 Referencias principales para esta sección

959. Las principales referencias utilizadas en esta sección son, además de las presentadas por las organizaciones:

- Sitio web del *IARC* - <http://www.iarc.fr/>
- Sitio web de la OIT – <http://www.ilo.org>,  
OIT, Ginebra, Suiza (1999): *Social and labour issues in small-scale mining* -  
<http://www.ilo.org/public/english/dialogue/sector/techmeet/tmssm99/tmssmr.htm>;
- Sitio web del *IPCS* - <http://www.who.int/pcs/index.htm>;
- Sitio web del *JECFA* - [http://www.who.int/pcs/jecfa/JECFA\\_publications.htm](http://www.who.int/pcs/jecfa/JECFA_publications.htm)
- Sitio web de la OCDE – <http://www.oecd.org>;
- Sitio web del PNUMA Programa de Acción Mundial - <http://www.gpa.unep.org>;
- Sitio web de la ONUDI – <http://www.unido.org>.
- Sitio web del Banco Mundial - <http://www.worldbank.org/html/fpd/mining/default.html>

### 9.5 Iniciativas subregionales y regionales

960. Por último, algunos gobiernos han estimado ventajoso cooperar a través de las fronteras nacionales para abordar los efectos adversos del mercurio en la salud y el medio ambiente en una subregión o región determinada. En la tabla 9.5 se ofrece un panorama general de las iniciativas subregionales y regionales establecidas en este proyecto que tienen actividades relacionadas con el mercurio. En las siguientes secciones se resumen esas iniciativas y su pertinencia con respecto al mercurio.

Tabla 9.5 – Panorama general de las iniciativas subregionales y regionales relacionadas con los efectos adversos del mercurio en la salud y el medio ambiente.

Sección	Iniciativa subregional o regional	Regiones cubiertas	Pertinencia de la iniciativa con respecto al mercurio	Tipos de medidas relativas al mercurio establecidas en la iniciativa
9.5.1	Plan de Acción del Consejo del Ártico (ACAP)	Región del Ártico (Canadá, Dinamarca, Estados Unidos de América, Finlandia, Islandia, Noruega, Rusia y Suecia)	Trata del mercurio y los compuestos de mercurio en liberaciones, productos, desechos, etc.	Definición de objetivos, proyectos de cooperación para la reducción de emisiones, información, vigilancia
9.5.2	Estrategia binacional para las sustancias tóxicas en los Grandes Lagos	Canadá y Estados Unidos de América	Trata del mercurio y los compuestos del mercurio en liberaciones, productos, desechos, etc.	Definición de objetivos, información, mejora de la capacidad
9.5.3	Plan de Acción sobre el Mercurio de los Gobernadores de Nueva Inglaterra y los Primeros Ministros del Este de Canadá	Estados de Nueva Inglaterra (Estados Unidos) y provincias del este de Canadá (Canadá)	Trata del mercurio y los compuestos del mercurio en liberaciones, productos, desechos, etc.	Definición de objetivos, información, mejora de la capacidad, programas de sensibilización y divulgación
9.5.4	Programa de Acción Ambiental en el Nórdico	Región nórdica (Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia y Groenlandia, Islas Feroe y Åland)	Trata de los metales pesados, incluido el mercurio	Definición de objetivos, información, mejora de la capacidad
9.5.5	Plan de Acción regional de América del Norte sobre el mercurio	Región de América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América y México)	Trata del mercurio y los compuestos del mercurio en liberaciones, productos, desechos, etc.	Definición de objetivos, información, mejora de la capacidad
9.5.6	Conferencias sobre el Mar del Norte	Mar del Norte (Alemania, Bélgica, Comisión Europea, Dinamarca, Francia, Noruega, Países Bajos, Reino Unido, Suecia, Suiza)	Trata de los metales pesados, incluido el mercurio	Definición de objetivos, información
9.5.7	Órgano Coordinador de los Mares de Asia Oriental – Proyecto PNUMA/FMAM sobre inversión de las tendencias de degradación del medio ambiente en el mar de China Meridional y el golfo de Tailandia	Mar de China Meridional y golfo de Tailandia (Camboya, China, Filipinas, Indonesia, Malasia, Tailandia y Vietnam)	Trata de los metales pesados, incluida la contaminación con mercurio en el agua de mar, sedimentos y organismos marinos el mercurio	Información, reducción de las fuentes

### 9.5.1 Plan de Acción del Consejo del Ártico para Eliminar la Contaminación del Ártico (ACAP, por su nombre en inglés)

961. El Consejo del Ártico, creado el 19 de septiembre de 1996, es un foro intergubernamental de alto nivel que ofrece un mecanismo para tratar problemas y retos comunes a los que se enfrentan los gobiernos de los Estados árticos y los pueblos del Ártico. Sus países miembros son los que bordean la zona del Ártico: Canadá, Dinamarca, Estados Unidos de América, Finlandia, Islandia, Noruega, Rusia y Suecia. La Asociación de las Minorías Indígenas del Norte, Siberia y el Lejano Oriente de la Federación de Rusia, la Conferencia Inuit Circumpolar, el Consejo Saami, la Asociación Internacional Aleut, el Consejo Ártico Atabascano y el Consejo Internacional Gwich'in son participantes permanentes en el Consejo. Éste celebra reuniones de rango ministerial cada dos años.

962. Las actividades principales del Consejo se centran en la protección del medio ártico y el desarrollo sostenible como medio de mejora del bienestar económico, social y cultural del norte. En

1991 el Consejo puso en marcha la Estrategia de Protección del Medio Ambiente en el Ártico (*Arctic Environmental Protection Strategy*), en la que los países miembros se comprometen a:

- Cooperar en la investigación científica para determinar fuentes, vías, depósitos y efectos de contaminación, en especial, petróleo, acidificación, contaminantes orgánicos persistentes, radioactividad, ruidos y metales pesados, así como compartir estos datos;
- Evaluar los posibles efectos ambientales de las actividades de desarrollo; y
- Aplicar plenamente y considerar medidas ulteriores para controlar los contaminantes y reducir sus efectos adversos para el medio ambiente en el Ártico.

963. El Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico (*Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP*) se creó en 1991 para aplicar los componentes de la Estrategia de Protección del Medio Ambiente en el Ártico. El objetivo del *AMAP* es "ofrecer información suficiente y veraz sobre el estado del medio ambiente en el Ártico, y sus amenazas, y ofrecer asesoramiento científico sobre la medidas que deben tomarse a fin de ayudar a los gobiernos del Ártico en sus intentos por establecer medidas correctivas y preventivas relativas a los contaminantes".

964. En junio de 1997 se presentó el informe del *AMAP* "Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report" a los ministros de Estados del Ártico acogidos a la Estrategia de Protección del Medio Ambiente en el Ártico. Este informe detallado constituye una recopilación de la información actual sobre la región del Ártico, una evaluación de esta información en relación con los criterios acordados de calidad ambiental y una declaración de las condiciones existentes en la zona. Incluye un capítulo independiente sobre metales pesados, entre los que figura el mercurio, que describe las concentraciones encontradas en la zona del Ártico en los ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos.

965. Los ministros acordaron una serie de medidas en respuesta a las conclusiones del *AMAP*. Entre ellas figuraba el incremento de los esfuerzos para limitar y reducir las liberaciones de contaminantes en el medio ambiente y la promoción de la cooperación internacional a fin de reducir los riesgos de contaminación que se habían encontrado. Además, se elaboró un Plan de Acción del Consejo del Ártico para Eliminar la Contaminación del Ártico (*ACAP*, por su nombre en inglés). En el plan se daba prioridad a una serie de contaminantes de especial preocupación para la región del Ártico, entre los que se incluía el mercurio.

966. En las actividades previstas en relación con el mercurio figura la identificación y cuantificación de las principales fuentes puntuales de mercurio en todos los países miembros, con el consiguiente objetivo de aplicar proyectos piloto para la reducción de emisiones concretas para algunas fuentes de emisión que servirían como ejemplo de iniciativas eficaces de reducción del mercurio.

### 9.5.2 Estrategia Binacional para Sustancias Tóxicas en los Grandes Lagos

967. La Estrategia Canadá-Estados Unidos para la cuasi eliminación de las sustancias tóxicas persistentes en la cuenca de los Grandes Lagos, conocida como la Estrategia binacional sobre las sustancias tóxicas en los Grandes Lagos, ofrece un marco para acciones destinadas a reducir o eliminar las sustancias tóxicas persistentes, que se bioacumulan, de la cuenca de los Grandes Lagos. La Estrategia fue elaborada conjuntamente por Canadá y Estados Unidos en 1996 y 1997 y se firmó el 7 de abril de 1997.

968. La finalidad de esta estrategia binacional es establecer un proceso colaborador por el cual Canadá y Estados Unidos trabajen en pos de la virtual eliminación de las sustancias tóxicas persistentes derivadas de la actividad humana, en especial las que se bioacumulan, de la cuenca de los Grandes Lagos, de modo que se proteja y asegure la salud e integridad del ecosistema de los Grandes Lagos. La Estrategia establece retos para la reducción de una lista inicial de sustancias tóxicas persistentes con el objetivo de llegar a su cuasi eliminación: aldrín/dieldrín, benzopireno, clordano, DDT, hexaclorobenceno, plomo alcalino, mercurio y compuestos, mirex, octacloroestireno, BPC, dioxinas y furanos, y toxafeno.



969. Aunque tanto Canadá como Estados Unidos tienen también estrategias nacionales de cuasi eliminación, se hacía necesaria una estrategia coordinada para incrementar la reducción de las sustancias tóxicas en la cuenca de los Grandes Lagos. Admitiendo el carácter a largo plazo de la cuasi eliminación, la Estrategia ofrece el marco para llevar a cabo medidas para lograr los “retos” de reducción cuantificables en un marco temporal de 1997 a 2006 para sustancias tóxicas específicas. En la Estrategia se ofrece flexibilidad para permitir la revisión de los retos, los plazos y la lista de sustancias. Los retos para el mercurio establecidos en la estrategia son los siguientes (considerados como objetivos de reducción provisionales, pendientes de revisión, si se justifica):

970. Reto estadounidense: Lograr, para el año 2006, una reducción nacional del 50% en el uso deliberado de mercurio y una disminución del 50% en emisiones de mercurio procedentes de fuentes relacionadas con la actividad humana. El reto sobre emisiones se aplicará al total de las emisiones en el aire en todo el país y en el agua de la cuenca de los Grandes Lagos.

971. Reto canadiense: Lograr, para 2006, una reducción del 90% en las emisiones de mercurio, o en el uso mismo del elemento, en las fuentes contaminantes que resultan de la actividad humana en la cuenca de los Grandes Lagos.

### **9.5.3 Plan de Acción sobre el Mercurio de los Gobernadores de Nueva Inglaterra y los Primeros Ministros del Este de Canadá**

972. En junio de 1998 la Conferencia de Gobernadores de Nueva Inglaterra y Primeros Ministros del Este de Canadá (*NEG/ECP*, por su nombre en inglés) adoptó el histórico Programa de Acción sobre el Mercurio, que especifica medidas para proteger a los ciudadanos de la región y su medio ambiente del mercurio. El Plan proporciona a los Estados de Nueva Inglaterra y a las provincias del este de Canadá una serie de medios fuertes y coordinados para reducir las emisiones antropógenas de mercurio en la región y eliminar el mercurio de los flujos de desechos de la región.

973. El Plan de acción sobre el mercurio establece un objetivo a largo plazo de eliminación virtual de las emisiones antropógenas de mercurio en la región. Establece asimismo una meta intermedia que compromete a establecer medidas para reducir las emisiones regionales de mercurio en un 50% para el 2003. Esta meta intermedia ha ofrecido un importante punto de referencia para motivar y avanzar hacia la eliminación virtual. En un avance reciente, el *NEG/ECP* adoptó en agosto de 2001 una segunda meta provisional para reducir en un 75% las emisiones regionales de mercurio para el 2010. La nueva meta sobre la reducción debería resultar difícil de alcanzar, pero factible.

974. Desde la adopción del Plan, representantes de organismos ambientales de estados y provincias del Grupo de Trabajo sobre el Mercurio, junto con organizaciones colaboradoras como el USA EPA, el Ministerio del Medio Ambiente de Canadá, el *Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM)*, la *Northeast Waste Management Officials' Association (NEWMOA)* y la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) han aplicado de forma decidida el espíritu y los compromisos del programa. En consecuencia, la región ha alcanzado su objetivo y probablemente supere el objetivo de reducción del 50% para el 2003.

975. En el ámbito de la divulgación y la sensibilización, las jurisdicciones se han centrado en actividades como el incremento de la concienciación pública mediante avisos sobre el consumo de pescado, sobre todo con respecto a poblaciones vulnerables; trabajar con el sector de asistencia sanitaria, incluidos los hospitales y clínicas dentales, para reducir las liberaciones y la utilización del mercurio; incrementar los esfuerzos locales para desviar el mercurio del flujo de desechos mediante la separación en fuente y el reciclado; y trabajar con las escuelas para eliminar los peligros del mercurio en las clases. Las actividades de prevención de la contaminación han hecho hincapié en importantes esfuerzos para abordar el contenido de mercurio de los productos comerciales y al consumidor mediante la aplicación de una legislación estatal y la elaboración de normas nacionales. Los programas de recogida de mercurio e intercambio de termómetros también han contribuido a los buenos resultados de la reducción de la carga de mercurio en el flujo de desechos sólidos, así como a sensibilizar al público respecto al mercurio.

#### 9.5.4 Programa Nórdico de Acción Ambiental

976. La cooperación nórdica oficial se canaliza a través de dos organizaciones: el Consejo Nórdico y el Consejo Nórdico de Ministros. El Consejo Nórdico, constituido en 1952, es el foro para la cooperación interparlamentaria. El Consejo Nórdico de Ministros, formado en 1971, es el foro para la cooperación intergubernamental. Participan cinco países (Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia) y tres regiones autónomas (Groenlandia, las Islas Feroe y Åland).

977. La mayoría de ministros nórdicos para esferas políticas específicas se reúnen con sus homólogos dos veces al año. El Consejo de Ministros para el Medio Ambiente establece las políticas relativas a la cooperación ambiental. Durante algunos años, la cooperación nórdica en materia de medio ambiente se ha basado en una estrategia ambiental con una serie de objetivos. El Programa Nórdico de Acción Ambiental 2001-2004, que sustituye a la Estrategia Nórdica para el Medio Ambiente 1996-2000, es un instrumento directivo político, con objetivos y orientado a unos resultados que establece las prioridades ambientales dentro del marco de la cooperación nórdica en el ámbito de la naturaleza y el medio ambiente. Entró en vigor el 1º de enero de 2001. El programa de acción complementa los compromisos nórdicos en materia de medio ambiente que figuran en la estrategia nórdica, “*Sustainable Development - New Bearings for the Nordic Region*”, y de manera activa, el programa establece una cooperación horizontal para conseguir la integración de las consideraciones ambientales en todos los sectores.

978. En la estrategia se fija el siguiente objetivo general en relación con las sustancias químicas:

*“La utilización de sustancias químicas no debe suponer riesgo de efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente, y las descargas de sustancias químicas que constituyen una amenaza para la salud humana y el medio ambiente deben interrumpirse en el plazo de una generación (25 años)”.*

979. En su cooperación, los países nórdicos trabajarán a fin de garantizar que los objetivos de generación establecidos en virtud del Convenio OSPAR y el Convenio de Helsinki se pongan en funcionamiento, que se adopten los reglamentos y estrategias dirigidas a un mayor nivel de protección dentro del Acuerdo Económico Europeo/Unión Europea, y que se adopten los acuerdos internacionales, jurídicamente vinculantes que, con la mayor amplitud posible, impongan una prohibición o umbrales muy rigurosos para la utilización y la descarga de sustancias químicas peligrosas para la salud humana y el medio ambiente. Una de las actividades previstas, relativa al mercurio, señala que los países nórdicos tomarán medidas para “*limitar mundialmente las sustancias distintas a los COP (metales pesados) mediante acuerdos internacionales*”.

#### 9.5.5 Plan de Acción Regional sobre el Mercurio de América del Norte

980. La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) es una organización internacional creada por Canadá, Estados Unidos de América y México en virtud del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). El propósito de la CCA es ocuparse de cuestiones regionales relativas al medio ambiente, ayudar a evitar posibles conflictos ambientales y comerciales, y promover la aplicación eficaz de la legislación ambiental. El Acuerdo complementa las disposiciones ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). El Consejo, órgano rector de la CCA, está constituido por los ministros de medio ambiente (o su equivalente) de cada país. Se reúne al menos una vez al año para tratar los programas y actividades de la CCA.

981. La Comisión ofreció el mecanismo para que los tres países miembros negociasen un acuerdo, la Resolución de Consejo 95-5 sobre la Gestión Racional de las Sustancias Químicas, que se aceptó el 13 de octubre de 1995. La resolución establece un marco, conjuntamente con compromisos específicos, para trabajar en colaboración en la gestión racional de sustancias químicas en la región. Se constituyó un Grupo de Trabajo para trabajar con la CCA en la aplicación de las decisiones y compromisos establecidos en la resolución. Desde entonces se han elaborado cuatro programas de acción regionales norteamericanos sobre DDT, clordano, BPC y mercurio, los cuales se encuentran actualmente en distintas fases de ejecución.

982. El fin último del plan de acción sobre el mercurio es conseguir reducir las liberaciones antropógenas de mercurio al medio ambiente norteamericano mediante las iniciativas nacionales e internacionales pertinentes hasta cantidades que pueden atribuirse a niveles y flujos generados de forma natural. El propósito de las Partes es lograr esta meta tratando de reducir las liberaciones de mercurio generadas por actividades humanas, desarrollar una mejora de la capacidad para medir y gestionar el mercurio, evaluar los efectos y comunicar las preocupaciones, establecer un protocolo equitativo de instrumentación y cumplimiento, y promover iniciativas para la gestión constante y responsable del mercurio en nombre de los gobiernos, las industrias y los ciudadanos a través de medidas normativas y voluntarias/no normativas de gestión del mercurio.

983. En el programa se establecen recomendaciones detalladas para la reducción de las emisiones y liberaciones de mercurio procedentes de un gran número de fuentes y actividades. Algunos ejemplos de las recomendaciones específicas que se hacen en el programa de acción son:

- Estimular **prácticas de gestión del ciclo de vida** (seguimiento de exportaciones e importaciones, promover sistemas de gestión ambiental reconocidos, como ISO 14000);
- Fomentar la adopción oportuna de **un umbral de notificación de 5 kg** para las instalaciones que fabrican, procesan o utilizan mercurio al año dentro de los registros nacionales de emisión y transferencia de contaminantes;
- Fomentar la **sustitución o eliminación gradual de mercurio en productos o procesos**. Cuando no haya sustitutos, promover la utilización de mercurio reciclado o recuperado;
- Fomentar el desarrollo de **sustitutos en la industria automotriz y equipos automotores** tanto para vehículos nuevos como existentes;
- Promover medidas para **reducir o eliminar la utilización de mercurio** en otros sectores como el sector de fabricación de baterías, el sector de interruptores y relés eléctricos, el sector de fabricación de lámparas, el sector de atención médica y odontología, usos culturales y artesanales, y el sector de análisis, pruebas, mediciones, calibración y educación;
- Gestionar las emisiones atmosféricas de mercurio (con el objetivo de alcanzar para el 2006 una reducción nacional del 50% de las emisiones de mercurio de las actuales fuentes fijas de importancia, basándose en los inventarios de emisiones de 1990 o equivalentes);
- Dar seguimiento al programa voluntario, o de carácter no reglamentario, de la industria para **reducir el uso de mercurio en la industria de cloro-álcali con celdas de mercurio en un 50% hasta 80 toneladas, antes de 2005**, y garantizar que toda nueva instalación de cloro-álcali construida después del año 2000 cumpla con el valor límite de 0,01 g Hg/tonelada de capacidad de producción de cloro o, cuando se justifique, prohíba el proceso de celdas de mercurio;
- Prevenir la liberación directa en el medio ambiente de **mercurio en productos y desechos de procesos**, fomentando la recolección eficaz de desechos y evitando que el mercurio en productos y desechos de procesos se mezcle con desechos menos peligrosos en el flujo general de desechos promoviendo la recolección y el tratamiento separado;
- Considerar la creación de una iniciativa para **promover la retirada del mercurio** por la cual las fuentes de emisión que cumplan con las normas exigidas, pero que continúan liberando cantidades residuales de mercurio, puedan compensar esas emisiones residuales retirando o eliminando una cantidad igual o mayor de mercurio del fondo de América del Norte;
- Fomentar la creación y utilización de **técnicas y métodos eficaces de estabilización y eliminación de los residuos de mercurio**;
- Elaborar datos compatibles y comparables relativos al mercurio;
- Fomentar programas conjuntos de investigación y trabajos de modelación atmosférica.

984. Aunque los planes de acción regionales en virtud de la iniciativa de Gestión Racional de Sustancias Químicas no son jurídicamente vinculantes para ninguna de las Partes en el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, existe un fuerte compromiso nacional por parte de cada país miembro de garantizar que el Plan de acción sobre el mercurio genere reducciones considerables de

la contaminación con mercurio del medio ambiente. La ejecución de un Plan de Acción se garantizará mediante la supervisión del Grupo de Trabajo para la Aplicación.

### 9.5.6 Conferencias sobre el mar del Norte

985. La I Conferencia Internacional para la Protección del Mar del Norte se celebró en Bremen en 1984. Su objetivo era dar impulso político a la intensificación del trabajo dentro de los órganos internacionales pertinentes y garantizar una aplicación más eficaz de las normas internacionales existentes en relación con el medio marino en todos los Estados del mar del Norte. Se consideró que una declaración política desde una perspectiva del mar del Norte estimularía y haría avanzar el trabajo en curso en el marco de los convenios internacionales existentes, como el Convenio de Oslo para la prevención de la contaminación marina, el Convenio de París sobre contaminación generada en tierra y el Convenio OMI sobre cuestiones de transporte marítimo.

986. La Conferencia de Bremen inició un proceso continuo donde la atención estaba puesta en la protección del mar del Norte en Conferencias Ministeriales de carácter regular. A la Conferencia de Bremen en 1984 siguió la Conferencia de Londres de 1987, la Conferencia de La Haya de 1990, la Conferencia de Esbjerg en 1995 y la más reciente Conferencia de Bergen en marzo de 2002. Las Conferencias del mar del Norte son eventos políticos donde los ministros responsables de la protección del medio ambiente se reúnen para llevar a cabo una evaluación amplia y exhaustiva de las medidas necesarias para la protección del medio ambiente en el mar del Norte. Las decisiones de los ministros, recogidas en las declaraciones ministeriales, son compromisos políticos que han desempeñado una importante función a la hora de influir en las decisiones de gestión jurídicamente vinculantes tanto a escala nacional como en el marco de los órganos internacionales competentes. Alemania, Bélgica, la Comisión Europea, Dinamarca, Francia, Noruega, Países Bajos, Reino Unido, Suecia y Suiza forman parte de esta cooperación.

987. Las Conferencias del mar del Norte tratan de una amplia gama de cuestiones relacionadas con la protección del mar del Norte, como, por ejemplo, cuestiones relativas a especies y hábitats, la contaminación por sustancias y nutrientes peligrosos, sustancias radioactivas y la contaminación de barcos e instalaciones mar adentro. Debido a la preocupación surgida ante los efectos de la pesca en las poblaciones de peces de importancia comercial, en otras poblaciones de peces y en el ecosistema marino en general, las actividades de pesca se introdujeron como una nueva cuestión durante los años noventa.

988. En 1990 se acordaron ambiciosos objetivos de reducción de las aportaciones de 36 sustancias peligrosas, incluido el mercurio, en un 50% y de reducción de las aportaciones de sustancias que suponen una amenaza importante en un 70%. El objetivo acordado a largo plazo en la Conferencia de Esbjerg de 1995 de reducir de forma continuada las descargas, emisiones y pérdidas de sustancias peligrosas, encaminándose así hacia el objetivo de su cese dentro de una generación, ha sido actualmente adoptado por el Convenio OSPAR, volviéndose así jurídicamente vinculante. Según el informe sobre los avances de la 5ª Conferencia de Bergen, celebrada en marzo de 2002, todos los países participantes en la cooperación del mar del Norte han cumplido su objetivo de reducción del 50% de las emisiones de mercurio, plomo y cadmio al aire y al agua. Para el mercurio, las reducciones en ocho países ascienden a un total de al menos el 70% y un país ha notificado una reducción del 64%.

### 9.5.7 Órgano coordinador de los Mares de Asia Oriental – Proyecto PNUMA/FMAM sobre inversión de las tendencias de degradación del medio ambiente en el mar de China Meridional y el golfo de Tailandia

989. El proyecto de PNUMA/FMAM sobre “Inversión de las tendencias de degradación del medio ambiente en el mar de China Meridional y el golfo de Tailandia” es un proyecto regional para los mares de Asia Oriental. El proyecto se aprobó en la XV Reunión del Órgano Coordinador de los Mares de Asia Oriental (*COBSEA*, por su nombre en inglés) y está financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). Este importante proyecto del FMAM (32 millones \$EUA) representa el primer intento para promover programas de coordinación regional concebidos para invertir la

degradación ambiental, sobre todo en la zona de pérdida y degradación de hábitats ribereños, detener la contaminación de origen terrestre y abordar la cuestión de la sobreexplotación pesquera. Entre los países participantes figuran Camboya, China, Filipinas, Indonesia, Malasia, Tailandia y Vietnam. El Comité Directivo del Proyecto, como órgano supremo de toma de decisiones, está formado únicamente por representantes de los países participantes en el proyecto. El PNUMA, a través de su Unidad de Coordinación Regional de los Mares de Asia Oriental, ejerce como Secretaría del Comité. El proyecto se ejecutará durante 5 años a partir de 2001.

990. Los objetivos generales de este proyecto son crear un medio a nivel regional, en el que se fomente y promueva la colaboración y la asociación entre todos los participantes y en todos los niveles a la hora de tratar problemas ambientales del Asia Meridional y el golfo de Tailandia, y mejorar la capacidad de los gobiernos participantes para integrar consideraciones ambientales en la planificación del desarrollo nacional. Los principales resultados incluirán un Plan de Acción Estratégica que incluirá un programa de acción con indicación de objetivos y costos y un marco para la cooperación regional en la gestión del medio ambiente de la China Meridional y el golfo de Tailandia; planes de gestión nacionales y regionales para hábitats y asuntos específicos; actividades piloto relativas a medidas correctivas alternativas para tratar los contaminantes transfronterizos prioritarios, y objetivos y normas adoptados de calidad de las aguas; una estrategia regional para obtener beneficios a largo plazo de la utilización sostenible continuada de recursos del mar de la China Meridional y del golfo de Tailandia; y actividades de gestión de demostración en lugares de importancia regional y mundial.

### 9.5.8 Referencias principales para esta sección

991. Las referencias principales utilizadas en esta sección son, además de las presentadas por las organizaciones:

- Sitio web del Consejo del Ártico - <http://www.arctic-council.org>; Sitio web del *AMAP* - <http://www.amap.no/>;
- Sitio web de *US EPA*: Estrategia binacional para sustancias tóxicas - <http://www.epa.gov/glnpo/bns/>;
- Presentación de la Commonwealth de Massachusetts– <http://www.chem.unep.ch/mercury/gov-sub/sub18gov.pdf>; Sitio web de NEG/CEP - <http://www.cmp.ca/toc.htm>;
- Sitio web del Consejo Nórdico - <http://www.norden.org/start/start.asp>;
- Sitio web del CCA - <http://www.cec.org>.
- Sitio web de las Conferencias sobre el Mar del Norte - <http://odin.dep.no/md/nsc/>
- Sitio web de la Unidad de Coordinación Regional de los Mares del Asia oriental del PNUMA - <http://www.unepscs.org>.

## 10 Datos e información faltantes

992. El objeto del presente capítulo es meramente el de indicar las principales categorías que se han determinado en las deficiencias de datos, con miras a mejorar la evaluación y gestión de riesgos en lo que al mercurio respecta. En consecuencia, no se prevé que el capítulo presente una lista completa de las deficiencias pormenorizadas de datos correspondientes a los diversos campos de investigación.

### 10.1 National research and information needs

993. En sus presentaciones al PNUMA, varios países han expresado la necesidad de establecer o mejorar sus “bases de datos” nacionales sobre el mercurio y sus compuestos (es decir, en lo tocante a los conocimientos sobre los usos y emisiones, e información a su respecto, fuentes de las liberaciones, grado de su presencia en el medio ambiente, así como opciones de prevención y control). Si bien la situación varía de un país a otro, parece que existe una necesidad generalizada de información sobre diversos aspectos de la estrategia de gestión relativa al mercurio. Además, los países con mayor tradición de gestión medioambiental del mercurio han expresado la necesidad de continuar ampliando sus conocimientos básicos sobre este metal, con miras a mejorar la evaluación de riesgos y asegurar la efectiva gestión de los mismos. Algunas de las necesidades son, entre otras:

- Crear inventarios del uso, consumo y liberaciones de mercurio al medio ambiente en el plano nacional;
- Vigilar las actuales concentraciones de mercurio en los diversos medios (tal como la atmósfera, descarga atmosférica, aguas superficiales y entornos de flora y fauna (tal como peces, fauna y flora silvestres y seres humanos) y evaluar las repercusiones del mercurio en los seres humanos y en los ecosistemas, incluyendo las que emanen de las exposiciones acumulativas a diversas formulaciones de mercurio;
- Recopilar información sobre el transporte, transformación, ciclos y destino definitivo del mercurio en diversos entornos;
- Disponer de datos e instrumentos de análisis para las evaluaciones de los riesgos ecológicos y humanos;
- Disponer de conocimientos e información sobre las posibles medidas de reducción y prevención que sean pertinentes a la situación de todo el país;
- Incrementar el grado de concienciación del público respecto de las potenciales repercusiones adversas de mercurio y sobre la manipulación adecuada y las prácticas de gestión de desechos;
- Disponer de medios e instalaciones adecuadas para poder acceder a la información actual sobre el mercurio y sus compuestos en los planos nacional, regional e internacional;
- Crear capacidad e infraestructuras con miras a la gestión segura de sustancias peligrosas, incluido el mercurio y sus compuestos, así como capacitar al personal que tiene que manipular tales sustancias peligrosas;
- Recopilar información sobre el comercio del mercurio y materiales que lo contengan.

#### **Intercambio de información en el plano internacional y despliegue de esfuerzos en el plano nacional para recoger información**

994. Algunas partes de dicha información podrían, en principio, intercambiarse en el marco nacional, regional o internacional, sin embargo, y dado que su relevancia es universal, cabe la posibilidad de que haya que “traducirlo” al contexto del marco de las tradiciones, economía, actividades industriales y realidad política del país individual en cuestión. Por sí mismo, esto ya exige un considerable grado de prioridad, conocimientos y financiación.

995. El proceso de evaluación acometido por el PNUMA, en cumplimiento de la decisión 21/5 del Consejo de Administración, así como los datos recogidos y presentados a este respecto (informes, documentos, páginas Web) contribuyen, por sí mismos, a dicho intercambio de información, pudiendo también llegar a tenerse en consideración otras actividades complementarias a tal efecto. No hay duda alguna de que se han generado ingentes volúmenes de información que recoge conocimientos básicos sobre el mercurio, gracias a los esfuerzos desplegados en los planos nacional, regional e internacional. Lo que es más, la velocidad a la que se efectúa el intercambio de información es cada vez mayor, a medida que va creciendo la información que sobre el mercurio y otras sustancias peligrosas puede obtenerse por Internet.

996. Otros aspectos de la información corresponden específicamente al país en cuestión y exigirían esfuerzos en el marco nacional para investigar, recoger y tratar la información necesaria para establecer estrategias/planes de acción nacionales sobre el mercurio en el marco de sus programas nacionales de gestión medioambiental.

997. Un cierto número de países han elaborado estrategias para promover actividades de investigación y de generación de información con objeto de subsanar las deficiencias de información identificadas o generar una información ulterior con miras a sustentar sus actividades de gestión y de evaluación de riesgos relativas al mercurio. Entre otros ejemplos, se incluyen la Estrategia para la Investigación sobre el Mercurio, que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) publicó en septiembre de 2000 (sub-5-gov) y el programa de investigación de la COMERN (*Collaborative Mercury Research Network - "Red de colaboración para la investigación sobre el mercurio"*) sobre las repercusiones de la sedimentación del mercurio a gran escala en la atmósfera de ecosistemas del Canadá, programa que viene respaldado por el gobierno canadiense (sub-5-ngo). Hay algunos planes de acción regional y nacional sobre el mercurio que incluyen también secciones en las que se describen actividades concretas destinadas a subsanar las deficiencias de datos y de información.

## 10.2 Falta de información general en todo el mundo

998. Además de todo lo indicado *supra*, y a pesar de que el mercurio es quizás el producto tóxico cuyas repercusiones en el medio ambiente más se han estudiado, los ámbitos de comprensión elemental de un cierto número de cuestiones generales y mundiales pertinentes al mercurio siguen sufriendo deficiencias informativas.

999. Basándose en la información presentada y en la compilación y evaluación de la misma, las actuales deficiencias de información en el marco mundial sobre el mercurio podrían dividirse como sigue (lo que no se indica por orden de prioridad):

- Comprensión y cuantificación de los **mecanismos naturales que influyen en el curso del mercurio** en el medio ambiente, tales como movilización, transformación, desplazamiento y admisión. En otras palabras, las rutas que sigue el mercurio a su paso por el medio ambiente y para pasar de éste a los humanos.
- Comprensión y cuantificación –en el marco mundial– de la **participación del ser humano en las liberaciones de mercurio**, y de las contribuciones de aquél a los problemas que crea la presencia del mercurio en los planos local, regional y mundial que de ellas se desprende. En otras palabras, las rutas por las que el mercurio pasa del ser humano al medio ambiente.
- Comprensión de cómo y hasta qué punto las actuales concentraciones de mercurio en el medido ambiente local, regional y mundial afectan adversamente a los humanos, a los ecosistemas y a la fauna y flora silvestres. En otras palabras, las posibles repercusiones, el número de afectados y la magnitud y gravedad de los mismos.

### Comprensión elemental

1000. Tras aproximadamente 50 años de una extensa labor investigando las repercusiones y rutas por las que se desplaza el mercurio, se ha establecido un entendimiento básico de las tres categorías

antedichas. No obstante, sigue siendo necesario realizar investigaciones ulteriores en un cierto número de ámbitos que permitan mejorar las evaluaciones de los modelos medioambientales creados y los medios de los que se dispone actualmente para la toma de decisiones.

### **Cuantificación de las fuentes, rutas de desplazamiento y repercusiones del mercurio**

1001. Se necesita cuantificar considerablemente las fuentes, rutas de desplazamiento y repercusiones, con objeto de poder gestionar eficiente y rentablemente los contaminantes medioambientales tales como el mercurio. La cuestión de qué grado de certidumbre constituye evidencia que sirva para justificar las acciones tendentes a la eliminación pertenece, sin embargo, al ámbito político. Dicha cuestión plantea una serie de prioridades en el ámbito de la salud pública, de la calidad del medio ambiente y de las posibilidades socioeconómicas. Las tradiciones y prioridades políticas atinentes a estos aspectos difieren entre países y regiones y evolucionan con el tiempo.

1002. A título de ejemplo, el Canadá, en sus observaciones presentadas al primer proyecto del presente informe, manifestó:

“... existen diversos ámbitos donde se necesitan mayores conocimientos, como por el ejemplo el de la bioquímica, ciencias de la atmósfera, hidrología, toxicología/epidemiología, estrategias de vigilancia de las concentraciones de mercurio en los medios de fauna y flora silvestres, así como en la recogida de información sobre las concentraciones de mercurio en los combustibles producto de fósiles. No obstante, y aunque es importante ser conciente de las cuestiones sin concluir, la evidencia actual muestra sin lugar a dudas que su exposición al mercurio conlleva riesgos para el medio ambiente y la salud de los seres humanos. No es, por lo tanto, realista retrasar el proceso de evaluación ni el desarrollo de opciones hasta tener en nuestras manos todas las respuestas.”

### **Resumen de las deficiencias informativas que se han determinado**

1003. Las secciones que siguen a continuación facilitan un resumen de los diversos tipos de deficiencias informativas mencionadas en las presentaciones y en las observaciones que se efectuaron al primer proyecto del presente informe, así como de las deficiencias que se determinaron durante la elaboración definitiva del mismo. Consúltense las referencias que se indican infra si se desea una mayor información.

#### **10.2.1 Ejemplos de deficiencias informativas sobre los mecanismos naturales que influyen en el devenir del mercurio**

- Los estudios ulteriores de las emisiones naturales de mercurio serían útiles para poder reducir al mínimo las incertidumbres a la hora de cuantificarlas y poder describir con mayor precisión la importancia relativa de la contribución del ser humano a la presencia del mercurio. En particular, se necesita información sobre la posición geográfica en que se encuentran las zonas principales en las que acaecen emisiones de forma natural y sobre la cuantificación de las variaciones anuales y estacionales de tales emisiones, amén de los montos totales, así como aislar las fuentes que se encuentren en tales zonas (por ejemplo, zonas con terrenos y lechos rocosos que contengan minerales de mercurio) y las fuentes puntuales (por ejemplo, volcanes y fumarolas). Las superficies oceánicas emiten también mercurio y los componentes naturales de tales emisiones no pueden distinguirse de las emisiones de mercurio que se hubieran depositado previamente. En este último caso, se determinará el total de emisiones que llega a la atmósfera. En todos los casos es importante determinar la formación de las formulaciones del mercurio que se emiten de fuentes naturales, incluyendo la determinación del mercurio elemental, óxidos gaseosos de mercurio y mercurio metilado (es decir, monometilmercurio y dimetilmercurio) (véanse, por ejemplo, las presentaciones del Canadá, sub-42-gov).
- Los estudios ulteriores serían útiles para entender mejor el transporte, la transformación y el destino del mercurio en la atmósfera y en medios acuáticos y terrestres, prestando especial atención a:



- 1) La mejora de la información cuantitativa de la dinámica de transformación del mercurio y de los procesos de descarga a la atmósfera, incluidos los eventos que llevan al agotamiento del mercurio por sobreexplotación de los casquetes polares y los procesos de oxidación/reducción en la troposfera libre, las investigaciones de los procesos de oxidación/reducción en el laboratorio y sobre el terreno, la sedimentación en seco y los procesos de intercambio entre gases y líquidos.
  - 2) La determinación de los procesos que controlan la movilización/inmovilización del mercurio en terrenos y sedimentos, poniendo especial énfasis en el lixiviado del mercurio y del metilmercurio de los bosques a los sistemas acuáticos;
  - 3) La cuantificación de los procesos de metilación/desmetilación en los ecosistemas acuáticos, prestando especial atención a los ecosistemas y procesos costeros y del Ártico, en los que los óxidos de mercurio sufren un proceso de reducción tras lo que pasan a la atmósfera, así como la determinación de las principales rutas por las que el metilmercurio entra a los ciclos alimenticios acuáticos, con especial énfasis en los ecosistemas costeros y del Ártico.
  - 4) El desarrollo y refinamiento de los modelos que sirven para describir los procesos químicos, la dispersión y el desplazamiento del mercurio a grandes distancias, prestando especial atención a los modelos a escala hemisférica y mundial, con el fin de facilitar descripciones cuantitativas del ciclo atmosférico mundial que sigue el mercurio; así como la creación de modelos de ecosistemas para estudiar el mercurio, incluidos la movilidad y bioacumulación del mismo en ecosistemas terrestres y acuáticos;
  - 5) El fomento de la transferencia de tecnologías y de la cooperación internacional respecto de los métodos analíticos y de muestreo normalizados atinentes a las formulaciones de mercurio.
- Los estudios ulteriores sobre metilación, bioacumulación y otros procesos e interrelaciones que acaecen en los sistemas de la cadena alimenticia, serían de útiles para describir mejor los vínculos entre las liberaciones de mercurio efectuadas por los seres humanos y los niveles de concentración observados (por ejemplo, en el caso de los modelos cuantitativos), y sus repercusiones en los seres humanos, ecosistemas y fauna y flora silvestres (véanse, por ejemplo, las presentaciones de Canadá (sub-42-gov), COMERN (sub-5-ngo), Suiza (sub-38-gov), Alemania (sub-57-gov) y Tailandia (sub-53-gov));
  - Los estudios ulteriores de las constantes de las reacciones químicas y de otros mecanismos que afecten a la transformación y flujos del mercurio en sus estados sólido, líquido y gaseoso en la atmósfera, y de sus fases de transformación de uno a otro de tales estados, así como del flujo entre sus estados atmosférico, acuático y terrestre, servirían para mejorar la creación de modelos locales, regionales, hemisféricos y mundiales del transporte del mercurio y entender mejor el ciclo mundial del mismo (véanse, por ejemplo, las presentaciones de Italia/UE, sub-52-gov);
  - Cabe la posibilidad de que haya que realizar medidas y evaluaciones ulteriores de las emisiones que se producen a partir del mercurio depositado de antiguo en las superficies terrestres y acuáticas, a fin de mejorar los conocimientos del ciclo mundial de mercurio, incluido su transporte atmosférico a grandes distancias y la importancia relativa de las contribuciones antropogénicas, así como para potenciar las posibilidades de creación de modelos y de vigilancia de los cambios ocasionados por la reducción de emisiones (véanse, por ejemplo, las presentaciones de Italia/UE, sub-52-gov);
  - Los estudios ulteriores de la acumulación de evidencias de carácter histórico de las contribuciones humanas de mercurio al medio ambiente serían útiles para mejor describir la importancia relativa de la repercusión que ejercen las actividades humanas (véanse, por ejemplo, las presentaciones de Canadá, sub-42-gov);
  - Los estudios ulteriores del papel que juegan las sedimentaciones de mercurio en seco serían útiles para lograr un mayor grado de comprensión de la contribución relativa de la sedimentación en húmedo en comparación con la sedimentación en seco.

### **10.2.2 Ejemplos de deficiencias informativas sobre la conducta humana en lo tocante al mercurio**

- La mejora y actualización ulteriores de las evaluaciones del consumo, movilización, flujos y liberaciones antropogénicos de mercurio en el plano mundial (incluidos los inventarios de las

descargas a la atmósfera, las liberaciones que emanan de los procesos de tratamiento de residuos y vierten a los entornos acuáticos, etc.) serían útiles para dar una imagen más concreta de la situación y una plataforma más idónea para seleccionar, en el plano mundial, qué fuentes antropogénicas abordar (y cómo hacerlo), y si priorizar la reducción de las liberaciones de mercurio que efectúa el ser humano (véanse, por ejemplo, las secciones 6 y 7 de las presentaciones de la Comisión Europea (sub-40-gov), Italia/UE (sub-52-gov), Suiza (sub-38-gov), así como observaciones por parte de los EE.UU., (comm-24-gov));

- La evaluación de los cambios previstos en el consumo mundial de mercurio y en su correspondiente suministro en diferentes situaciones de prevención/reducción posibles, sería de utilidad para facilitar una plataforma que permitiera tomar decisiones sobre la gestión de la oferta (producción, reciclaje y gestión de existencias), si se jerarquizara por prioridades (véase, por ejemplo, la presentación del Consejo Nórdico de Ministros (Nordic Council of Ministers, sub-84-gov);
- Si bien ha sido posible construir una imagen medianamente completa de las existencias de productos básicos y de sus flujos entre los países industrializados, la decreciente importancia económica del mercurio ha venido acompañada de un declive correspondiente de información de dominio público sobre su uso y producción. Lo que es más, en los países en desarrollo se está utilizando y produciendo cada vez más mercurio, aspectos que éstos sobre los que se publica poco. Por último, hay un gran número de países que parecen desconocer las técnicas de análisis de flujos. Las deficiencias informativas específicas, incluidas las correspondientes a la producción y uso del mercurio, incluyen:
  - 1) Las cifras anuales del uso y producción básicos que permitan vigilar la consecución del programa en sus esfuerzos de reducción, incluida información tal como la compilada anualmente en los Sondeos de Productos Minerales (“Mineral commodity surveys”) del USA Geological Survey;
  - 2) Un estudio económico referencial sobre las nuevas explotaciones mineras de mercurio primario que facilite conocer profundamente la capacidad de respuesta de tales explotaciones ante las variaciones de los precios. Como ejemplos de la información a recabar se incluye: la situación jurídica, la propiedad, los reglamentos pertinentes al medio ambiente, el coste de producción por unidad, la naturaleza y alcance de los subsidios públicos, la producción anual y las ventas desde 1990;
  - 3) La elaboración periódica de un inventario de usos que sirva de orientación a los futuros esfuerzos de reducción de la demanda, incluida una lista exhaustiva de usos específicos (productos y procesos) y estimaciones cuantitativas del uso actual y de la futura demanda en el marco de las categorías principales de los usuarios finales;
  - 4) Un inventario periódico de los factores de la demanda no basados en el mercado para apoyar las prohibiciones futuras de esa demanda, incluida una lista de las eliminaciones/prohibiciones obligatorias;
  - 5) Un estudio básico de la minería artesanal, incluidas las cantidades de oro extraídas, el número de mineros y la cantidad y proporción de mercurio utilizado;
  - 6) La necesidad de que se transfieran y apliquen a nivel internacional las técnicas disponibles para llevar a cabo análisis del flujo de materiales en todos los sectores industriales.
- Sería útil mejorar los inventarios de las emisiones, específicamente las emisiones antropógenas, incluida la especificación del mercurio. Se debería prestar atención especial a las emisiones difusas procedentes de la manipulación de mercurio elemental (por ejemplo minería artesanal del oro), la incineración no controlada y de desechos domésticos, así como a la mejora de los datos de las principales categorías de fuentes puntuales (industrias manipuladoras del mercurio, incineradores de desechos y centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles).
- También sería útil a que se llevarán a cabo estudios adicionales del contenido de mercurio en los combustibles fósiles (antracita, gas natural y petróleo) y sobre los mecanismos químicos y físicos y las condiciones de combustión que influyen en el mercurio en un sistema de combustión, a fin de lograr una comprensión mejor de la influencia de la combustión de combustibles fósiles en el ciclo mundial del mercurio y determinar enfoques eficaces para reducir las emisiones procedentes de esa

fuentes. Además, convendría mejorar los inventarios de emisiones procedentes de las fuentes antropógenas principales, especialmente en relación con las materias primas (por ejemplo la antracita), los procesos de configuración (por ejemplo el diseño de calderas), el diseño y la aplicación de sistemas de control de emisiones y el uso y la eliminación de los subproductos.

- Convendría que se desarrollaran y demostraran tecnologías de control integradas de múltiples contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, material en partículas y mercurio) y detectores de emisiones continuas.
- También sería útil para muchos países reunir información sobre buenas prácticas en relación con tecnologías para la prevención y el control de la producción de cemento, la minería industrial y artesanal, la industria metalúrgica, las instalaciones cloro alcalinas.
- Convendría elaborar un manual sobre sustitución de productos para ponerlo a disposición de muchos países.
- Sería útil realizar una evaluación de los elementos positivos y negativos desde el punto de vista económico y social de las posibles hipótesis para la prevención/reducción del mercurio, a fin de contar con una base más sólida para determinar, a nivel mundial, las necesidades, en términos recursos humanos, para dar prioridad a las liberaciones de mercurio de fuentes antropógenas.
- Convendría proseguir la investigación sobre el almacenamiento provisional y definitivo del exceso de mercurio, y de desechos que contienen mercurio para que se puedan retirar definitivamente las cantidades excedentes de mercurio del entorno humano. Es preciso seguir de cerca esas soluciones para el almacenamiento y deberían garantizar que el depósito se mantiene de tal modo que, en la medida de lo posible, se minimicen las emisiones a través de cualquier punto de escape. La transferencia de mercurio desde el entorno social a esos depósitos debe llevarse a cabo en condiciones de manipulación seguras.

### **10.2.3 Esferas en las que no se dispone de información suficiente sobre los efectos perjudiciales de los niveles actuales del mercurio**

- Convendría tener una noción más cabal de las relaciones entre la respuesta a la dosis en relación con el metilmercurio, el mercurio elemental e inorgánico y su dependencia de la vulnerabilidad individual ya sea debido a la edad y condición física, la nutrición, o a otros factores. En relación con la falta de información sobre el metilmercurio el desconocer su repercusión en las enfermedades cardiovasculares y en la mortalidad.
- Sería útil llevar a cabo investigaciones adicionales sobre las repercusiones potenciales en la salud de la amalgama dental y los aditivos de las vacunas que contienen compuestos de mercurio.
- A para poder determinar con mayor exactitud los segmentos de la población en situación de riesgo debido a una mayor exposición, convendría vigilar de forma coordinada y más amplia las concentraciones de mercurio en el cabello humano y en otras muestras humanas pertinentes. Los resultados de esa labor de vigilancia se podrían utilizarse también para establecer prioridades respecto de las medidas de prevención a nivel local.
- Sería útil mejorar la comprensión de los efectos de la exposición conjunta a diferentes tipos de mercurio (y a través de diversas vías de exposición) en la relación entre la dosis y la respuesta en los seres humanos.
- También sería útil llevar a cabo un estudios adicionales para mejorar la comprensión de cuáles son los efectos ecotoxicológicos actuales del mercurio en diversos tipos de ecosistemas y vida silvestre desde una perspectiva mundial. Por ejemplo, existen cada vez más pruebas que parecen indicar que la exposición al mercurio a que están sometidas algunas especies de vida silvestre sujetas a una elevada exposición se debe a la ingestión de pescado o/y marisco contaminado. Una mayor comprensión de los efectos toxicológicos y ecológicos del metilmercurio en diversas especies; la interacción del mercurio con otras sustancias químicas de indicadores de otro tipo en los receptores ecológicos; y los métodos de evaluación del riesgo ecológico, son algunas de las esferas en que se carece de información.

- Convendría elaborar métodos para la coordinación y vigilancia a nivel internacional de diversos entornos.
- Convendría realizar una evaluación de los elementos positivos y negativos desde el punto de vista medioambiental de las posibles hipótesis para la prevención/reducción del mercurio a fin de contar con una base más sólida para determinar, las fuentes humanas que es necesario tener en cuenta a nivel mundial para dar prioridad a la reducción de las liberaciones de mercurio de fuentes antropógenas (ello guarda también relación con la cuestión del comportamiento humano en relación con el mercurio).

#### **10.2.4 Utilización de la información reunida para la evaluación mundial del mercurio en el futuro**

1004. Como se ha mencionado en varias ocasiones en este informe, se ha presentado un gran volumen de material como aportación a este proceso y se ha establecido una red de contactos a los niveles nacional, regional e internacional. Además de los beneficios que ya se han obtenido gracias a estos materiales estos también podrían constituir una base a partir de la cual estudiar más a fondo varias de las cuestiones mencionadas anteriormente, así como otras cuestiones de importancia para la repercusiones ambientales del mercurio a nivel mundial, si se estimará oportuno llevar a cabo esa labor.

### **10.3 Elaboración de instrumentos de política**

1005. En base al resumen sobre la complejidad de los mecanismos químicos y físicos en relación con el ciclo del mercurio que figura en el secciones anteriores de este informe, cabría formular varias preguntas, como por ejemplo, (véase también Pirrone et al. 2002) ¿cuáles son las relaciones cualitativas y cuantitativas entre la contribución atmosférica, la deposición y el mercurio en los medios acuáticos? ¿Es posible establecer un límite de deposición para el mercurio a fin de regular sus emisiones en la atmósfera? ¿Se conoce la relación entre el flujo de mercurio que accede a las aguas superficiales y el nivel de mercurio (metil mercurio) en los peces? ¿Es posible evaluar el período de respuesta de los ecosistemas marinos en relación con los cambios en las emisiones atmosféricas? ¿Existe algún marco regional o hemisférico comprobado y probado para evaluar las pautas temporales y espaciales de las deposiciones de mercurio en las aguas marinas y su acumulación subsiguiente en los peces y, en última instancia, sus efectos en la cadena alimentaria?

1006. Para responder a esas cuestiones y contribuir al desarrollo y la aplicación de estrategias internacionales destinadas a reducir los efectos del mercurio en la salud humana y el medio ambiente, es necesario elaborar instrumentos de política que ayuden a los formuladores de políticas y a los diferentes tipos de usuarios e interesados directos a seleccionar la estrategia más eficaz en cuanto a los costos.

1007. Por ejemplo, en Europa, la Dirección General para la Investigación, de la Comunidad Europea, presta apoyo a programas de investigación sobre el mercurio (por ejemplo, MERCYMS) cuyo fin es la elaboración de instrumentos para la elaboración de modelos basados en el concepto del marco Impulsor-Presión-Estado-Efecto-Respuesta (IPESR), que ya se ha utilizado como base de la directiva sobre la calidad del aire en Europa en lo referente al ozono. En otros lugares, Estados Unidos y Canadá, por ejemplo se están llevado a cabo actividades análogas para elaborar instrumentos para la elaboración de modelos integrados.

1008. En el cuadro 10.1 figura el marco conceptual IPESR para la reducción y el control de la contaminación por mercurio, descrito por la Dirección General para la Investigación, en el que se expone el modo en que nuestra comprensión de la interacción de los factores de presión con otras esferas de los conocimientos medioambientales, como las evaluaciones del impacto y la vigilancia (Estado), la actividad económica (Impulsor) y la política ambiental eficaz (Respuesta). Una evaluación de los inventarios de emisiones espacialmente definidos puede ser muy útil para evaluar los efectos de actividades antropógenas en los medios terrestre y acuático. Las principales demandas humanas, como por ejemplo, la energía, el transporte y los alimentos pueden ser considerados como los "impulsores" en

relación con la generación de emisiones de mercurio en el aire ambiente. Para que una pueda crecer constantemente de manera sostenible es necesario controlar las fuentes de contaminación. Para ello es preciso comprender los "impactos", es decir, qué tipo de contaminación afecta a qué sectores del medio ambiente o a qué elementos de la salud humana y en qué medida. Para decidir que medidas que sería preciso adoptar al respecto sería también útil conocer el "estado" del medio ambiente, por ejemplo, si los niveles de contaminación son superiores a aquello que causarían perjuicios al medio ambiente. Al adoptar las medidas pertinentes debemos ser capaces de responder de manera puntual para prevenir, controlar y reducir la contaminación evitando, al mismo tiempo, un perjuicio a gran escala para el desarrollo económico. Los inventarios de emisiones proporcionan a los encargados de adoptar decisiones y al público en general una comprensión de las fuentes de contaminación principales, o "presiones", el modo en que esas fuentes han ido evolucionando simultáneamente con el crecimiento económico y cómo podrían contribuir a la contaminación en el futuro. Estos conocimientos son esenciales para formular una "respuesta" puntual a los problemas relacionados con la contaminación por mercurio y para satisfacer las demandas del desarrollo sostenible. La respuesta de política puede formularse en relación con hipótesis económicas con distintos objetivos relativos al control de la contaminación por mercurio (por ejemplo, la perspectiva de una situación en que nada cambia; la perspectiva de la formulación de objetivos de políticas; la perspectiva intensamente verde).

1009. Como ya se ha mencionado anteriormente en la sección 10.2, el inicio de la puesta en práctica de medidas de política no siempre requiere una comprensión detallada y exhaustiva de todos los elementos del marco conceptual.

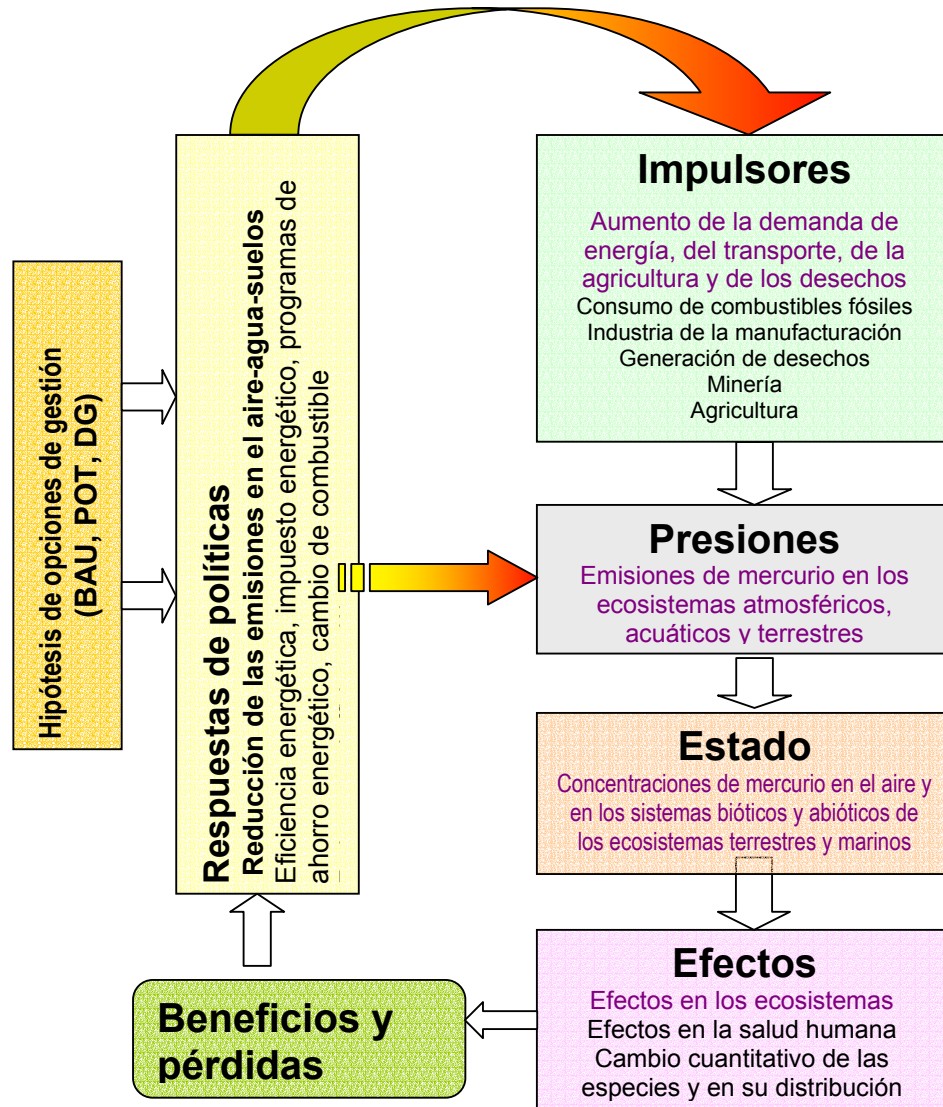


Figura 10.1 Modelo conceptual de un marco impulsor – Presión – Estado – Efectos – Respuesta para el control y la reducción de los riesgos para la salud humana y el medio ambiente a causa de la exposición al mercurio; BAU: hipótesis de que nada cambia; POT: hipótesis de objetivos de políticas; DG: hipótesis de intensidad ecológica.

Fuente: Proyecto MERCYMS financiado por la Comisión Europea – DG Research. Se puede obtener información adicional en <http://www.ii-a-cnr.unical.it/MERCYMS/project.htm>.

## 11 Opciones para hacer frente a todo efecto significativo del mercurio a escala mundial

### 11.1 Panorama general

1010. El capítulo 11 responde a la solicitud del Consejo de Administración del PNUMA de que se esbozaran, para su examen, opciones para hacer frente a todo efecto perjudicial del mercurio a nivel mundial, entre otras cosas, reduciendo y/o eliminando el uso, las emisiones, las descargas y las pérdidas de mercurio y de sus compuestos; mejorando la cooperación internacional y procurando aumentar la comunicación relativa a los riesgos.

1011. Como parte de la instrumentación de la decisión 21/5 del Consejo de Administración, el PNUMA estableció un Grupo de Trabajo para que le asistiera en la preparación de las discusiones del Consejo de Administración sobre este tema durante su período de sesiones en febrero de 2003. Durante su primera reunión celebrada del 9 al 13 de septiembre de 2002, el Grupo de Trabajo sobre la Evaluación Mundial del Mercurio concluyó su informe de evaluación para presentación ante el Consejo de Administración en su XXII Período de sesiones. En esta reunión, el Grupo de Trabajo llegó a algunas conclusiones relevantes para las consideraciones del Consejo de Administración:

- A partir de las conclusiones de este informe, el Grupo de Trabajo determinó que, a su parecer, son suficientes las pruebas de significativos efectos perjudiciales globales que justifican la acción internacional para reducir los riesgos en la salud y el medio ambiente debidos a la liberación del mercurio en el medio ambiente. El fundamento lógico de esa conclusión se describe en la sección 11.2. Aunque es importante conocer mejor el problema, el Grupo de Trabajo subrayó que no era necesario tener un consenso pleno o pruebas completas para poder emprender acciones y que, por lo tanto, también deberían atenderse los efectos posiblemente perjudiciales a nivel mundial.
- El Grupo de Trabajo también acordó que se realizara un esbozo de opciones para recomendación sobre medidas para hacer frente a efectos perjudiciales del mercurio a escala mundial, regional, nacional y local. Las opciones se describen en la sección 11.3. En la sección 11.4 se explican otros aspectos para consideración del Consejo de Administración. Las opciones comprenden medidas como reducir o eliminar la producción, consumo y liberaciones de mercurio, la sustitución por otros productos y procesos, el consumo, la puesta en marcha de negociaciones para un tratado con carácter vinculante, el establecimiento de un programa mundial de acción no vinculante, y el fortalecimiento de la cooperación entre gobiernos en lo relativo a intercambio de información, comunicación de riesgos, evaluación y otras actividades pertinentes.
- Por último, el Grupo de Trabajo convino en que es preciso presentar al Consejo de Administración una variedad de posibles acciones inmediatas a la luz de sus conclusiones sobre los efectos del mercurio, por ejemplo, aumentar la protección de poblaciones vulnerables (mediante mejores esfuerzos de divulgación entre mujeres embarazadas y mujeres que planean embarazarse), proporcionar apoyo técnico y financiero a los países en desarrollo y países con economías en transición, e intensificar la investigación, vigilancia y recopilación de datos sobre aspectos ambientales y de salud del mercurio así como sobre sustitutos del mercurio que no sean nocivos para el medio ambiente. Esas propuestas de acción inmediata se plantean en la sección 11.5.

1012. Con el presente informe de evaluación y el esbozo de opciones, el Consejo de Administración tendrá una mejor base para considerar si se justifica adoptar medidas internacionales sobre el mercurio a fin de promover la gestión ecológicamente racional de ese elemento y de sus compuestos. El informe de evaluación contribuirá a aumentar la concientización y los conocimientos de las autoridades decisorias acerca de las importantes cuestiones relacionadas con el mercurio y sus compuestos, facilitando así el debate del tema en la próxima sesión del Consejo de Administración.

## **11.2 Conclusiones relativas a los efectos perjudiciales significativos del mercurio a escala mundial**

1013. El Grupo de Trabajo confirmó que era preciso adoptar un método global para hacer frente al problema de los efectos perjudiciales del mercurio a escala mundial, ya que había pruebas de que esos efectos en el medio ambiente han aumentado considerablemente debido a las actividades humanas y al hecho de que el mercurio está siendo transportado en el mundo a regiones alejadas de las fuentes de liberación. El Grupo de Trabajo recomendó que el Consejo de Administración, cuando considere en la próxima sesión los efectos perjudiciales del mercurio a escala mundial, tenga en cuenta las conclusiones del Grupo de Trabajo que se formulan más abajo (UNEP, 2002).

1014. Por las razones que se explican más abajo, el Grupo de Trabajo opinó en sus conclusiones que había pruebas suficientes de que el mercurio surtía efectos adversos de importancia en el plano mundial que justificaban la adopción de medidas internacionales para reducir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente derivados de las emisiones de mercurio al medio ambiente.

### **Propiedades peligrosas de importancia en el plano mundial**

1015. El mercurio y sus compuestos son sustancias sumamente tóxicas. La toxicidad potencial del mercurio para los seres humanos y otros organismos varía mucho, según la forma química, la vía de exposición, la cantidad y la vulnerabilidad de la persona expuesta.

1016. Una propiedad importante del mercurio es su capacidad para acumularse en organismos (bioacumulación) y avanzar en la cadena alimentaria (biomagnificación). Esto cobra importancia especial en el caso del mercurio metílico, que se acumula en mayor medida que otras formas del mercurio y, por ende, causa preocupación de primer orden.

1017. Una vez movilizado, el mercurio persiste en el medio ambiente, donde circula en el aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota en diversas formas inorgánicas y orgánicas. Puede ser transportado a largas distancias y sus emisiones en un continente pueden llegar a depositarse en otros continentes y en otras partes. Según la carga de contaminación del mercurio en cada lugar, por medio del aire y del agua pueden llegar a producirse adiciones sustanciales a la entrada total de mercurio.

### **Las poblaciones humanas y los ecosistemas en mayor riesgo**

1018. La exposición de la población en general al mercurio metílico se produce principalmente por medio de la alimentación y al mercurio elemental mediante las amalgamas dentales. Otras vías de exposición son las emisiones a la atmósfera y las actividades ocupacionales. La exposición al mercurio puede producirse también mediante la utilización de productos que lo contienen, como son las vacunas con preservativos de mercurio (Thimerosal/Thiomersal) y ciertos productos de cosmética.

1019. Algunos sectores de la población son especialmente vulnerables a la contaminación de mercurio, a saber, las embarazadas, los recién nacidos, los niños y las poblaciones indígenas que consumen pescados contaminados con mercurio metílico, y las comunidades que dependen de alimentos que pueden contener altos porcentajes de mercurio metílico, como pescados y mamíferos marinos.

1020. También están en riesgo los trabajadores que pueden verse expuestos por razones ocupacionales a concentraciones elevadas de mercurio.

1021. Hay también ciertos ecosistemas y poblaciones de animales silvestres que son particularmente vulnerables, por ejemplo los principales depredadores de las cadenas de alimentos acuática y terrestre (por ejemplo, los pájaros y mamíferos que se alimentan de peces), los ecosistemas árticos, los humedales, los ecosistemas tropicales y las comunidades biológicas que habitan el suelo.

1022. El mercurio tiene también efectos sociales y económicos en los países que dependen de la pesca como actividad importante, y puede influir también en la producción agrícola y el uso de la tierra y las aguas.



### **Fuentes**

1023. Hay pruebas irrefutables de que la actividad humana ha provocado un aumento considerable de los efectos del mercurio en el medio ambiente a nivel mundial. Las emisiones más importantes de mercurio en el medio ambiente son las emisiones a la atmósfera, pero también se pueden registrar otras formas de emisión de mercurio, entre ellas los vertidos al agua y a la tierra procedentes de diversas fuentes. La cantidad de mercurio liberada por estas vías varía de un país a otro.

1024. A continuación se ofrecen algunos ejemplos de las principales fuentes antropógenas de emisión del mercurio:

a) Emisiones originadas por la movilización de impurezas de mercurio:

- Producción de energía y calor a partir del carbón (la mayor fuente de emisiones a la atmósfera)
- Producción de energía alimentada por otros combustibles fósiles
- Producción de cemento (mercurio en la cal)
- Minería y otras actividades metalúrgicas que comprenden la extracción y elaboración de materiales minerales vírgenes y reciclados, por ejemplo, la producción de:
  - hierro y acero
  - ferromanganeso
  - zinc
  - otros metales no ferrosos
- Producción de petróleo

b) Emisiones procedentes de la extracción y el uso previstos del mercurio:

- Minería del mercurio
- Minería del oro en pequeña escala (proceso de amalgama)
- Producción de cloro-álcali
- Uso de lámparas fluorescentes, instrumentos, empastes dentales con amalgamas, etc.
- Fabricación de productos que contienen mercurio, por ejemplo:
  - termómetros
  - manómetros y otros instrumentos
  - interruptores eléctricos y electrónicos
- Biocidas (por ejemplo, desinfectantes de semillas, plaguicidas y fungicidas)
- Uso de otros productos, como baterías, fuegos artificiales y productos químicos de laboratorio

c) Emisiones procedentes del tratamiento de desechos, cremaciones, etc. (que tienen su origen tanto en impurezas como en el uso previsto del mercurio):

- Incineración de desechos (municipales, médicos y desechos peligrosos)
- Vertederos de basuras
- Cremaciones
- Cementerios (penetración del suelo)
- Reciclado y almacenamiento

1025. Se expresó preocupación por el hecho de que la existencia de emplazamientos industriales muy contaminados y las operaciones de minería continúan emitiendo mercurio a la atmósfera. Se señaló también que las actividades de ordenación de la tierra, el agua y los recursos, como las prácticas silvícolas y agrícolas, y las inundaciones podrían aumentar la biodisponibilidad de mercurio. La metilación y la bioacumulación también se ven influenciadas por los niveles altos de nutrientes y materia orgánica en las masas de agua. La frecuencia de fenómenos climatológicos extremos puede contribuir a la emisión de mercurio a la atmósfera como resultado de las inundaciones y la erosión del

suelo. Se expresó también preocupación con respecto a posibles emisiones procedentes de las existencias de mercurio y la necesidad de que se almacenen debidamente.

1026. Dado que en algunas partes del mundo se está eliminando gradualmente el uso del mercurio, los desechos de mercurio y su reciclado van en aumento también. En este contexto, se expresó preocupación por la exportación de desechos de mercurio a otras regiones y la posible transferencia de metodologías obsoletas hacia países en desarrollo y países con economías en transición.

### **Magnitud del peligro**

1027. Los efectos de la contaminación por el mercurio son importantes en los planos local, nacional, regional y mundial. Estos efectos se pueden combatir de diversas formas en cada uno de esos niveles, centrando la atención tanto en la oferta como en la demanda de mercurio.

1028. El mercurio y sus compuestos han surtido muy diversos efectos negativos de importancia en la salud humana y el medio ambiente registrados en todo el mundo. Los estudios sobre la exposición realizados en numerosas zonas geográficas indican que una proporción importante de seres humanos y animales silvestres de todo el mundo están expuestos a niveles peligrosos de mercurio metílico. También se han medido niveles elevados de mercurio metílico en numerosas especies marinas y de agua dulce de todo el mundo. Incluso en zonas en donde se registran emisiones locales y nacionales mínimas de mercurio, como el Ártico, sufren los efectos adversos debido al transporte transcontinental y mundial del mercurio.

1029. Algunos efectos del mercurio están vinculados al transporte a largas distancias, mientras que otros son de carácter más local. La exposición debida al transporte a largas distancias en la atmósfera se produce cuando el mercurio vertido al aire o al agua circula y se transforma en mercurio metílico, que luego entra en contacto con seres humanos y animales silvestres (por ejemplo, mediante el consumo de pescado y mamíferos contaminados). En comparación, el contacto con el mercurio o los vapores de mercurio en fuentes de uso o emisión, o cerca de ellas, puede producir un grado máximo de exposición al mercurio inorgánico.

## **11.3 Conclusiones del Grupo de Trabajo sobre posibles opciones para hacer frente a los efectos del mercurio de importancia mundial**

1030. El Grupo de Trabajo recomendó además que el Consejo de Administración considerara el esbozo de opciones para hacer frente a esos efectos perjudiciales del mercurio de importancia en el plano mundial que se indican más abajo (UNEP, 2002).

1031. A continuación se recomiendan algunas posibles opciones sobre medidas para hacer frente a los efectos adversos del mercurio en los planos mundial, regional, nacional y local, que pueden realizarse a corto, mediano y largo plazos. En cada momento países diferentes podrán utilizar opciones diferentes o podrán aplicarlas consecutivamente. Para adoptar una decisión sobre cuáles medidas son más apropiadas y eficaces en los planos mundial, regional o nacional habrá que tener en cuenta también las diversas repercusiones sociales y económicas.

### **A. Medidas para reducir o eliminar el uso, la emisión, la emanación y la pérdida de mercurio y sus compuestos**

#### **1. Sustitución de productos y procesos**

1032. Cabría considerar entre las medidas que suponen la sustitución de productos y procesos que contengan o utilicen mercurio:

- (a) La limitación o prevención del uso de mercurio en productos en los que se pueda utilizar sucedáneos y la promoción del desarrollo de alternativas apropiadas para los demás usos esenciales;

- (b) La limitación o prevención de usos previstos del mercurio, excepto en actividades de minería artesanal hasta que se puedan transferir a ese sector tecnologías apropiadas y a precios asequibles;
- (c) La limitación o prevención del uso de tecnologías obsoletas y la exigencia del empleo de mejores prácticas ambientales y técnicas disponibles para reducir o prevenir las emisiones de mercurio a la atmósfera y en el agua;
- (d) La eliminación gradual del mercurio y los productos con contenido de mercurio que se sigan utilizando, después de promover el desarrollo de sustitutos del mercurio y de otras tecnologías eficaces y a precios asequibles.

## **2. Limitación de la movilización de mercurio nuevo en la biosfera**

1033. Cabría considerar entre las medidas encaminadas a reducir la producción de materias primas y productos que generen emisiones de mercurio:

- (a) La reutilización del mercurio recuperado o reciclado para usos esenciales de manera estrictamente controlada en contraposición a la minería y fundición de mercurio virgen y la utilización y emanación negligentes de mercurio;
- (b) La limitación o prevención de la presencia de mercurio en forma de impurezas en los combustibles;
- (c) La reducción y, cuando sea posible, eliminación gradual de la minería de mercurio virgen.

## **3. Reducción del consumo**

1034. Cabría considerar entre las medidas para reducir el consumo de materias primas y productos que generen emisiones de mercurio:

- (a) La limitación o prevención de la presencia de mercurio como tal o en forma de impurezas en materiales de gran volumen (por ejemplo, embalajes);
- (b) La limitación o prevención de la comercialización en el plano nacional de productos que contengan mercurio;
- (c) La limitación o prevención de la exportación e importación de productos que contengan mercurio (por ejemplo, baterías, productos farmacéuticos, productos de cosmética, etc.);
- (d) La limitación o prevención de la comercialización de mercurio usado o que pueda constituir un producto básico;
- (e) El establecimiento de un "banco del mercurio" para tener constancia de la utilización de mercurio virgen o mercurio recuperado o reciclado con un sistema de controles estrictos.

## **4. Control y vigilancia de las emisiones y emanaciones**

1035. Se deben definir estrategias de vigilancia que presten particular atención a las capacidades técnicas y económicas de los países. Cada país podrá adoptar medidas de control de las emisiones y emanaciones de mercurio mediante:

- (a) La limitación o prevención de la emanación directa de mercurio procedente de diversos procesos (por ejemplo, fuentes industriales, incluida la industria del cloro alcalino, la producción de petróleo y gas, la industria metalúrgica, etc., otras fuentes como la incineración de desechos médicos y municipales, y actividades como la minería en pequeña escala) al medio ambiente, al aire, al agua y al suelo, mediante técnicas de control de las emisiones;

- (b) La limitación o prevención de las emisiones de mercurio a partir de la combustión de combustibles fósiles y el procesamiento de minerales mediante tecnologías de control de las emisiones o medidas de regulación;
- (c) La limitación o prevención del vertido de mercurio procedente de estos procesos en los sistemas de tratamiento de aguas de desecho (a fin de limitar ese vertido para los usuarios del agua y permitir el uso de los sedimentos industriales);
- (d) El control y la ratificación de las medidas destinadas a limitar o prevenir las emisiones y emanaciones de mercurio mediante tecnologías de limpieza posterior y el aumento de su eficacia, estableciendo para ello normas de emisión y sistemas de vigilancia ambiental eficaces desde el punto de vista del costo e idóneos.

## **5. Gestión de los desechos**

1036. Cabría incluir entre las medidas para reducir el mercurio en los desechos o eliminarlos mediante actividades de gestión de los desechos de mercurio:

- (a) La limitación o prevención de la emanación directa al medio ambiente del mercurio contenido en los desechos de productos y procesos mediante una recogida eficaz de los desechos;
- (b) La limitación o prevención de que el mercurio contenido en desechos de productos y procesos se mezcle con desechos menos peligrosos en la corriente general de desechos mediante su recogida y tratamiento por separado;
- (c) La limitación o prevención de la emanación de mercurio en el medio ambiente mediante el tratamiento de los desechos de los hogares, los desechos peligrosos y los desechos médicos con tecnologías de control de las emisiones,
- (d) La limitación del contenido de mercurio de los lodos de depuración que se aplican a los terrenos cultivados y la limitación del uso de residuos sólidos de la incineración que contengan mercurio en la construcción de caminos, etc.;
- (e) La limitación o prevención de la reventa de desechos que contengan mercurio;
- (f) La extracción del exceso de mercurio mediante una gestión de los desechos de larga duración (almacenamiento definitivo);
- (g) La prevención de las emanaciones de mercurio en el medio ambiente mediante el tratamiento de productos químicos y plaguicidas de desecho y obsoletos que contengan mercurio;
- (h) La promoción de compromisos jurídicos entre los fabricantes de productos que contengan mercurio de asumir la responsabilidad por el debido tratamiento de los desechos y la eliminación definitiva de sus productos;
- (i) La limitación o prevención de la incineración de productos, materiales y desechos que contengan mercurio.

## **B. Cooperación internacional**

1037. La cooperación internacional podría mejorar:

- (a) Promoviendo una mayor participación en los acuerdos y convenciones regionales e internacionales vigentes que tratan del mercurio y los compuestos del mercurio;
- (b) Mediante el intercambio periódico de información entre organizaciones internacionales, incluidas las organizaciones miembros del Programa entre organismos para la gestión racional

de las sustancias químicas, a fin de asegurar la coordinación de las actividades que tienen que ver con el mercurio y evitar la duplicación de esfuerzos y el despilfarro de los recursos disponibles;

(c) Apoyando las actividades a largo plazo de vigilancia y preparación de modelos en los planos nacional, regional e internacional para asegurar la disponibilidad de datos comparables e información precisa que oriente las políticas y programas destinados a reducir los niveles de mercurio en el medio ambiente de todo el mundo;

(d) Estudiando las posibilidades de colaboración con centros regionales y subregionales, como los del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación, y apoyando actividades y programas de investigación en colaboración para aumentar los conocimientos acerca de las fuentes de mercurio, los efectos sobre la salud humana, los efectos ambientales en la industria pesquera, los grupos de pescadores y los pueblos que dependen de la pesca para su supervivencia y el ciclo del mercurio en el medio ambiente;

(e) Apoyando estudios y programas de limpieza mediante gestiones de financiación internacional que beneficien a países en desarrollo y países con economías en transición;

(f) Proporcionando información para ayudar a los países en desarrollo y los países con economías en transición a establecer objetivos y prioridades en sus estrategias y medidas nacionales o regionales encaminadas a reducir el uso y las emisiones de mercurio (por ejemplo, asistencia para hacer inventarios de las fuentes y emisiones), incluso mediante la posible utilización del Convenio de Rotterdam para la Aplicación del Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional;

(g) Promoviendo estudios e intercambios de información para determinar los usos internacionales del mercurio y conocer mejor el recorrido del mercurio en los países y entre países, desde la producción hasta el consumo y el almacenamiento definitivo o su eliminación;

(h) Estableciendo un plan internacional para la prevención de la importación ilícita de mercurio y compuestos del mercurio sea como materia prima o como desecho peligroso.

### **C. Comunicación de los riesgos**

1038. Es posible mejorar la comunicación de los riesgos vinculados a los efectos adversos del mercurio y los compuestos del mercurio de la siguiente manera:

(a) Creando conciencia entre los encargados de formular políticas y adoptar decisiones acerca de los efectos adversos del mercurio y los compuestos de mercurio;

(b) Promoviendo la información pública, la concienciación y la educación sobre los efectos del mercurio y los compuestos del mercurio para la salud y el medio ambiente y las alternativas disponibles para reducir la exposición y reducir o eliminar las emanaciones y emisiones de mercurio, especialmente entre grupos vulnerables como los pueblos indígenas, las mujeres y los niños, los trabajadores y las comunidades que viven en las proximidades de lugares de actividad industrial y minera, etc.;

(c) Promoviendo la elaboración de planes de estudio en escuelas y programas de capacitación para los que trabajan en el procesamiento y la manipulación del mercurio;

(d) Estableciendo un centro de intercambio de información sobre el mercurio, por ejemplo, información sobre estrategias de gestión del riesgo, alternativas apropiadas y costos conexos, y asegurando fácil acceso a esta información, especialmente para los países en desarrollo y los países con economías en transición;

- (e) Estableciendo una red entre gobiernos y otros participantes para intercambiar información sobre iniciativas y actividades en marcha en los planos nacional, regional e internacional para reducir o eliminar los efectos adversos del mercurio;
- (f) Informando a la población en general sobre los riesgos de la exposición al mercurio mediante un asesoramiento eficaz acerca del consumo del pescado y la utilización de otros métodos de difusión de la información. Mejorando las medidas de difusión y la comunicación de los riesgos de la exposición al mercurio a los grupos vulnerables, a saber pueblos indígenas, mujeres embarazadas y niños;
- (g) Sensibilizando acerca de los riesgos derivados de la movilización del mercurio procedente de fuentes geológicas y de su acumulación en la biosfera;
- (h) Sensibilizando acerca de la perdurabilidad del mercurio y su posibilidad de ser transportado y transformado, y de acumularse en las cadenas alimentarias.

**D. Otras medidas para apoyar la reducción o eliminación de los usos, las emisiones, las emanaciones y las pérdidas y limitar los efectos adversos en las poblaciones humanas y el medio ambiente**

1039. Aparte de las medidas indicadas en la sección anterior, que apuntan directamente a la reducción de las emisiones y emanaciones de mercurio, existe un abanico más amplio de medidas y herramientas de gestión que complementan la infraestructura reguladora y apoyan la aplicación de las políticas y estrategias de reducción convenidas.

**1. Medidas en los planos nacional, regional e internacional**

1040. Se podría promover la formulación de planes de acción nacionales, regionales e internacionales para buscar soluciones al uso y la emisión del mercurio:

- (a) Estableciendo inventarios de los usos, las emisiones y los posibles efectos adversos del mercurio y los compuestos del mercurio en todo el mundo, así como de los lugares que actualmente están contaminados con mercurio o compuestos del mercurio, como base para la adopción de medidas en relación con el mercurio en todos sus aspectos, particularmente en países en desarrollo y países con economías en transición;
- (b) Elaborando y poniendo en práctica un plan de acción en el que se establezcan las políticas que necesita cada sector para reducir los usos y las emisiones de mercurio mediante criterios pluridisciplinarios y la participación de las principales partes interesadas;
- (c) Formulando programas de vigilancia, incluso medidas estandarizadas vinculadas a otros programas internacionales mediante redes internacionales, que contengan programas de capacitación y el intercambio de expertos entre los países desarrollados, por una parte, y los países en desarrollo y países con economías en transición, por la otra;
- (d) Promoviendo estudios sobre los efectos sociales y económicos de diferentes medidas que guarden relación con las condiciones diferentes de los países;
- (e) Elaborando instrumentos de política ambiental eficaces basados en metodologías integradas para facilitar la gestión de los sitios contaminados con mercurio como resultado de la actividad humana;
- (f) Estudiando la posibilidad de colaborar con el Convenio de Basilea en la elaboración de directrices relativas a opciones de gestión de los desechos de mercurio y de investigación de métodos para el almacenamiento definitivo que resulten económicas, y alentando y promoviendo la investigación de sucedáneos y otras tecnologías viables;

- (g) Estableciendo un grupo de tareas que coordine y aplique las medidas relacionadas con el mercurio a fin de resolver algunas de las incertidumbres que atañen a cuestiones de índole diversa.

## **2. Gestión de los productos químicos**

1041. Se podría promover el empleo de instrumentos de gestión de productos químicos y evaluación del ciclo vital y de técnicas para abordar los usos y las emisiones de mercurio:

- (a) Estableciendo normas de calidad ambiental para concentraciones máximas de mercurio admisibles en los distintos medios, como el aire, el agua, el suelo y los alimentos, a fin de limitar la exposición de los seres humanos y el medio ambiente (incluidos los lugares de trabajo, las poblaciones vulnerables y los ecosistemas expuestos a riesgos especiales);
- (b) Utilizando registros de emisión y transferencia de contaminantes para tener constancia de la interacción de las instalaciones industriales que usan mercurio o generan desechos de mercurio y el medio ambiente, y alentando a las empresas para que adopten medidas voluntarias para reducir sus emisiones y transferencias de mercurio;
- (c) Utilizando instrumentos de evaluación del ciclo vital, facilitando la elaboración y aplicación de códigos de conducta para diversos productores y sectores industriales, y promoviendo sistemas de ordenación del medio ambiente reconocidos, como el establecido en la norma ISO 14.001, EMAS (Reglamento europeo sobre ecogestión y ecoauditoría), etc.;
- (d) Estableciendo prácticas ambientales óptimas o directrices para la aplicación de las mejores técnicas disponibles en relación con los diversos sectores industriales;
- (e) Utilizando incentivos o desincentivos económicos para promover la sustitución de productos, métodos de análisis y procesos que contengan o utilicen mercurio o compuestos del mercurio;
- (f) Establecimiento un marco para la gestión de los movimientos transfronterizos del mercurio, los compuestos del mercurio, los productos que lo contengan y la tecnología, en particular hacia países en desarrollo y países con economías en transición. Esto puede lograrse adoptando el proceso utilizado por el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, o mediante otros modelos, como el Convenio de Rotterdam;
- (g) Estableciendo normas para los niveles máximos de emisión del mercurio al medio ambiente.

## **3. Medidas de carácter voluntario**

1042. Cabría considerar programas de reducción y compromisos voluntarios para limitar el uso y la liberación de mercurio en los planos nacional, regional e internacional del siguiente tenor:

- (a) Promoción de compromisos voluntarios entre los fabricantes de productos que contienen mercurio para que asuman la responsabilidad de asegurar la debida manipulación y el tratamiento de los desechos de sus productos (por ejemplo, mediante la difusión de información, la capacitación de los usuarios, los planes de devolución del producto, etc.);
- (b) Promoción de compromisos voluntarios entre los usuarios de productos que contengan mercurio (por ejemplo los hospitales) para que reduzcan y limiten o eviten las emisiones de mercurio al medio ambiente mediante la manipulación apropiada y el tratamiento de desechos;
- (c) Promoción de programas de reducción voluntaria en diversas industrias o actividades del sector privado para que reduzcan o eliminen sus usos y emisiones de mercurio, lo que alentaría a este sector a especificar y aplicar soluciones apropiadas y eficaces.

#### **4. Asistencia técnica y financiera**

1043. Cabría considerar entre las medidas encaminadas a prestar asistencia técnica y financiera a fin de mejorar la capacidad de los gobiernos, especialmente en los países en desarrollo y países con economías en transición, para vigilar y evaluar las emisiones y emanaciones de mercurio y aplicar medidas de control adecuadas:

- (a) La organización de actividades de capacitación y creación de capacidad para apoyar a los gobiernos a formular planes de acción y a aplicar las políticas y estrategias determinadas en la formulación de esos planes;
- (b) El establecimiento de un mecanismo encargado de atender las necesidades de asistencia técnica y financiera y creación de capacidad de los gobiernos, especialmente de los gobiernos de países en desarrollo y países con economías en transición, teniendo en cuenta los recursos y la asistencia facilitada por medio de la asistencia bilateral y multilateral y las asociaciones con una aplicación estricta de los principios y las prácticas de evaluación de las necesidades.

### **11.4 Otros aspectos relativos a las posibles opciones para hacer frente a todo efecto perjudicial significativo del mercurio a escala mundial**

1044. Al examinar las posibles opciones que se podrían aplicar para tratar de dar solución a los efectos adversos del mercurio, el Grupo de Trabajo indicó otros aspectos que se deberían tomar en consideración, como la eficacia relativa de las medidas nacionales y regionales frente a las medidas internacionales, o las medidas obligatorias por oposición a las voluntarias. A continuación se hace un examen a propósito de estos aspectos (UNEP, 2002).

#### **A. Medidas nacionales y regionales o medidas internacionales**

1045. El capítulo 9 del presente informe documenta un notable conjunto de medidas que se han aplicado en los planos nacional y regional en relación con el mercurio y los compuestos del mercurio. Gracias a estas medidas, algunos países han logrado reducciones sustanciales de las emisiones y emanaciones de mercurio provenientes de procesos y productos industriales. Además, diversos instrumentos regionales coordinados, tanto vinculantes como no vinculantes, como la Convención sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia, el Convenio para la protección del medio marino del Atlántico nordeste y el Plan de Acción regional norteamericano sobre el mercurio, han apoyado esas medidas nacionales y han contribuido a lograr nuevas reducciones allende las fronteras nacionales.

1046. Pese al éxito de estas iniciativas nacionales y regionales, algunos países consideran que tal vez no sean suficientes para asegurar una protección adecuada de la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos del mercurio, y piden que se estudien iniciativas coordinadas en el plano internacional.

1047. Si se llega a la conclusión de que hay problemas mundiales relacionados con el mercurio que hay que encarar, podría ser esencial para la eficacia de cualquier medida de reducción que se analizaran y convinieran compromisos sustantivos en el plano internacional. Toda circunstancia regional o nacional específica podría tratarse teniendo en cuenta las responsabilidades comunes pero diferenciadas establecidas en los compromisos convenidos.

1048. En caso de que los países de una región determinada consideren necesario establecer requisitos más estrictos que los establecidos en un instrumento internacional, cabría incorporar disposiciones relativas a esos acuerdos regionales en una iniciativa internacional.



## **B. Medidas no vinculantes o medidas vinculantes**

1049. Como se infiere del capítulo 9 del presente informe de evaluación, se han aplicado con éxito medidas voluntarias tanto no vinculantes como vinculantes para tratar de dar solución a los efectos negativos de los productos químicos. Estas dos formas de proceder representan pasos positivos hacia la consecución de objetivos ambientales y deben considerarse complementarios y no mutuamente excluyentes.

### **1. Medidas no vinculantes**

1050. En el capítulo 9 del presente informe de evaluación se dan varios ejemplos de medidas no vinculantes que tienen que ver específicamente con el mercurio. Otras medidas pertinentes a la gestión de los productos químicos que se han aplicado con éxito en los planos nacional, regional e internacional son:

- (a) Códigos de conducta, como el Código Deontológico para el Comercio Internacional de Productos Químicos (1994) del PNUMA y el Código Internacional de Conducta sobre la Distribución y Utilización de Plaguicidas (enmendado en 1989) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO);
- (b) Programas de reducción voluntaria con objetivos de reducción fijos, por ejemplo, las medidas del Chlorine Institute de los Estados Unidos de América para reducir el uso del mercurio dentro de las instalaciones de cloro-álcali con celdas de mercurio de Estados Unidos de América, y la Estrategia binacional para los productos tóxicos en la región de los Grandes Lagos;
- (c) Declaraciones ministeriales o de alto nivel que establecen objetivos de reducción, como las Declaraciones Ministeriales del Mar del Norte de las Conferencias sobre el Mar del Norte, y el Programa de Acción Nórdico para el Medio Ambiente del Consejo de Ministros de los países nórdicos;
- (d) Programas de acción que establecen recomendaciones detalladas para el control y la gestión responsables del mercurio, como el Programa de Acción Mundial para la protección del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra y el Programa de Acción regional norteamericano sobre el mercurio.

1051. Es posible que medidas no vinculantes de ese tipo presenten algunas ventajas. Los instrumentos vinculantes se suelen negociar durante varios años, mientras que los no vinculantes pueden aprobarse en plazos más cortos. Su carácter más flexible hace que los instrumentos no vinculantes sean con frecuencia más ambiciosos en los objetivos que establecen. Un instrumento no vinculante puede incorporar medidas para promover la presentación de informes, el acceso a información, la creación de capacidad y la asistencia técnica. Aunque la aplicación es voluntaria, los Estados se sienten obligados a respetar en la mayor medida posible los compromisos políticos que han contraído. Los instrumentos no vinculantes no requieren procedimientos de ratificación o aceptación, y podrían inducir la rápida aplicación de los compromisos. Por último, la participación en la aplicación puede llegar a ser más amplia que en el caso de instrumentos vinculantes que requieren ratificación.

1052. Ya se ha señalado que las medidas vinculantes y no vinculantes son complementarias y no mutuamente excluyentes. Los compromisos no vinculantes también se podrían utilizar para asegurar la rápida consecución de objetivos ambientales mientras se elaboran y entran en vigor los instrumentos vinculantes. Un ejemplo de ello es el procedimiento voluntario de consentimiento fundamentado previo de las Directrices de Londres para el intercambio de información acerca de productos químicos objeto de comercio internacional (enmendadas en 1989) y el Código Internacional de Conducta sobre la Distribución y Utilización de Plaguicidas (enmendado en 1989) de la FAO, que se aplicó en forma voluntaria desde 1989 hasta la aprobación en 1998 del Convenio de Rotterdam para la Aplicación del Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional. Esta aplicación voluntaria continúa durante el período de

transición hasta que entre en vigor el Convenio, mediante la aplicación de un procedimiento de consentimiento fundamentado previo de carácter provisional, basado en las disposiciones del Convenio de Rotterdam.

## **2. Instrumentos vinculantes**

1053. Un instrumento vinculante establece compromisos jurídicos firmes para los países que lo ratifican y contiene mecanismos para apoyar la aplicación de conformidad con los requisitos establecidos en el instrumento. Un instrumento vinculante requiere también el establecimiento de las estructuras y los procedimientos técnicos y administrativos que se necesitan en el plano nacional.

1054. Un instrumento vinculante con frecuencia incorporará también ciertos beneficios, como la promoción de la creación de capacidad y la asistencia técnica, el acceso a la información y el asesoramiento sobre sucedáneos y tecnologías apropiadas que podrían promover una amplia participación. Además, un instrumento vinculante puede incluir elementos que sean más o menos voluntarios, como las medidas recomendadas y los compromisos relativos a objetivos a largo plazo.

1055. Cuando se consideran las ventajas de un instrumento vinculante, cabe considerar dos opciones: la elaboración de un instrumento o la utilización de un instrumento internacional existente para hacer frente a los efectos adversos del mercurio y los compuestos del mercurio. En relación con esas dos opciones caben algunas consideraciones:

### **(a) Opción 1: Elaboración de un instrumento vinculante nuevo relativo al mercurio**

1056. La negociación de un instrumento internacional nuevo y separado sobre el mercurio podría facilitar la reglamentación detallada de todos los aspectos que los gobiernos consideran necesario abordar, pero requeriría también el establecimiento de la infraestructura necesaria en los planos nacional e internacional para aplicar las disposiciones de ese instrumento. La negociación de un instrumento internacional jurídicamente vinculante suele demorar varios años y emplea una cantidad considerable de fondos antes de su aprobación. De las dos instrumentos internacionales adoptados más recientemente en relación con la reglamentación de los productos químicos, la negociación y aprobación del Convenio de Rotterdam demoró 30 meses (marzo de 1996 a septiembre de 1998) y la del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, 35 meses (junio de 1998 a mayo de 2001). Ambos convenios requieren 50 ratificaciones para entrar en vigor y ninguno las ha logrado hasta el momento. En sus deliberaciones, el Consejo de Administración quizá desee dar especial prioridad a las medidas que el Grupo de Trabajo considere que se deben tomar de inmediato y que figuran en la parte C del apéndice I del presente informe.

### **(b) Opción 2: Utilización de un instrumento internacional vinculante existente para abordar la cuestión del mercurio**

1057. La utilización de un instrumento internacional existente para hacer frente a los efectos adversos del mercurio ofrece dos posibilidades: la incorporación del mercurio y los compuestos del mercurio, de conformidad con las actuales disposiciones, en un instrumento vigente o la elaboración de un protocolo relativo al mercurio y los compuestos del mercurio en el marco de ese instrumento.

1058. Los convenios pertinentes, como el Convenio de Rotterdam y el Convenio de Basilea, tienen por objeto reglamentar el comercio transfronterizo de desechos químicos y peligrosos no deseados. El convenio internacional aprobado en fecha más reciente, que tiene por objeto reducir las emisiones provenientes de fuentes antropógenas y reducir al mínimo o eliminar con el tiempo el uso y la producción de ciertos productos químicos, es el Convenio de Estocolmo. Existen, además, algunos instrumentos vinculantes limitados a una zona geográfica específica que tratan del mercurio, como la Convención sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia, el Convenio para la protección del medio marino del Atlántico nordeste y el Convenio sobre la Protección del Medio Marino en la Zona del Mar Báltico. En el capítulo 9 del presente informe de evaluación se describen todos estos instrumentos.

1059. De considerarse esta opción, habría que determinar si los objetivos generales de ese convenio vigente específico y las medidas de control estipuladas en él son los adecuados para abordar las cuestiones concretas que tienen que ver con el mercurio.

## 11.5 Propuestas para acción inmediata a consideración del Consejo de Administración del PNUMA

1060. El Grupo de Trabajo identificó también algunas medidas prioritarias especiales cuya aplicación el Consejo de Administración podría querer considerar de inmediato. Se describen a continuación (UNEP, 2002).

1061. El Consejo de Administración debería considerar la posibilidad de invitar a organismos de financiación multilaterales, a gobiernos y a otros asociados a que movilicen recursos técnicos y financieros en apoyo de las actividades nacionales y regionales, y la creación de capacidad para tareas como las siguientes:

- (a) Iniciar el proceso de establecimiento de planes de aplicación nacional para examinar:
  - (i) La concienciación de la población, mediante el empleo de cursos prácticos y de capacitación, acerca de los efectos adversos del mercurio y sus compuestos sobre la salud y el medio ambiente;
  - (ii) Un inventario de los usos y las emisiones de mercurio y compuestos del mercurio, así como los sitios actualmente contaminados, que sirva de base de información;
  - (iii) El establecimiento, cuando sea necesario, de las leyes y los reglamentos que aseguren su ejecución;
  - (iv) El intercambio de información regional;
- (b) Crear capacidad mediante:
  - (i) La capacitación y cursos prácticos en relación con muy diversos temas, entre ellos las medidas para prevenir la contaminación o los principales sectores que utilizan el mercurio (por ejemplo, instalaciones de cloro-álcali);
  - (ii) La asistencia técnica para el establecimiento de servicios de análisis y vigilancia;
  - (iii) El establecimiento de servicios encargados de la eliminación adecuada de desechos con contenido de mercurio, incluidos los plaguicidas obsoletos que lo contienen;
- (c) Promover el conocimiento de otras opciones de ganarse la vida y la transferencia de tecnología apropiada para el sector de la minería artesanal en pequeña escala;
- (d) Iniciar uno o más proyectos piloto en países en desarrollo y países con economías en transición para abordar las cuestiones mencionadas en los incisos a) a c) supra;
- (e) Apoyar la investigación de las vías y la naturaleza de la exposición y el ciclo del mercurio (transporte y transformaciones, en particular la formación de mercurio metílico) en diversas condiciones ambientales, particularmente en regiones tropicales y áridas, sobre las que existe poca información en los países en desarrollo y los países con economías en transición, y promover las investigaciones sobre el mercurio (diferenciación entre las emisiones naturales y antropógenas de mercurio en el aire, el agua y el suelo, y en las regiones del Ártico) en países desarrollados;
- (f) Apoyar la investigación sobre el desarrollo de procedimientos y métodos analíticos estandarizados para apoyar programas de vigilancia y preparación de modelos útiles y eficaces en función de su costo (tendencias, cuestiones de salud, vigilancia y biovigilancia de lugares críticos) como componente esencial de las medidas de control del mercurio;

- (g) Ayudar a los países a elevar al máximo los conocimientos de la población mediante la incorporación de la educación ambiental en los planes de estudio de las escuelas;
- (h) Establecer una base de datos sobre los usos, las fuentes, la química, la importación, la exportación, los peligros para la salud y las investigaciones realizadas en diversos lugares del mundo sobre el mercurio y sus compuestos. Todos deben tener acceso a este banco de datos;
- (i) Empezar de inmediato investigaciones sobre las mejores alternativas inocuas para el medio ambiente de que se disponga;
- (j) Elaborar estrategias para aumentar la difusión y la comunicación del riesgo a sectores vulnerables de la población (por ejemplo, las mujeres embarazadas);
- (k) Promover entre los gobiernos, en asociación con otras organizaciones públicas y privadas, la colaboración y el intercambio de información, incluida la información científica y técnica, sobre diversos temas como el transporte a larga distancia, la vigilancia y la preparación de modelos, los riesgos para la salud y el medio ambiente, la clasificación de las fuentes, la tecnología de control de las fuentes, las alternativas, las técnicas de prevención de la contaminación, la nutrición y los factores genéticos.

1062. En esta labor, habrá que apoyarse, en la medida de lo posible, en las organizaciones, los marcos y la infraestructura internacionales existentes.

## 12 Glosario, siglas y abreviaturas

1063. Los términos, las siglas y las abreviaturas que figuran a continuación tal vez aparezcan en este documento. Además, en el capítulo 3 se explican varios términos médicos.

<	menor que
>	mayor que
°C	grado Celsius (centígrado);
µg	microgramo (10 <sup>-6</sup> gramo);
µg/kg peso corporal por día	microgramos por kilo de peso corporal por día; unidades usadas para describir la ingesta (o dosis) de mercurio como ingestas consideradas seguras para los seres humanos (por ejemplo la dosis de referencia de los EE UU, descrita en la sección 4.2). En algunos casos también se utiliza la semana como unidad de tiempo.
IDA	ingesta diaria admisible;
AMAP	Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico;
ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos;
Balance (=presupuesto)	Total de estimaciones cuantitativas de cargas y descargas de flujos de sustancias para un receptor geográfico específico o entidad social;
Pc	peso corporal;
Deposición seca	Proceso de transporte de especies desde la atmósfera a la superficie subyacente en su interacción físico-química directa (sin precipitación) con elementos de la superficie subyacente; la deposición directa es de carácter continuo independiente de la ocurrencia o ausencia de precipitación atmosférica;
CE	Comunidad Europea (15 Estados Miembros - Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, España, Suecia y el Reino Unido);
EMEP	Programa de Cooperación para la Vigilancia Continua y la Evaluación del Transporte a Larga Distancia de Contaminantes Atmosféricos en Europa (Convención sobre la contaminación transfronteriza a larga distancia);
PES	precipitador electrostático; equipo usado para reducir emisiones de ciertos contaminantes procedentes de la combustión de gases de chimenea;
UE	Unión Europea;
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación;
FB	Lecho fluidizado; tecnología de calderas de combustión;
FT	Filtro de tejido; tipo de filtro utilizado para capturar material particulado (aquí: de la combustión de gases de chimenea);
DGC	desulfuración de gases de combustión; proceso o/equipo para, principalmente, minimizar las emisiones de azufre procedente de gases de chimenea;
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial;
Hg	mercurio;
Hg <sup>0</sup> o Hg(0)	mercurio elemental;
Hg <sup>2+</sup> o Hg(II)	mercurio bivalente – la forma predominante en compuestos orgánicos e inorgánicos del mercurio. En la atmósfera, las especies de mercurio con mercurio bivalente se eliminan más fácilmente del aire mediante precipitación y depositación que el mercurio elemental;
IARC	Organismo Internacional de Investigación sobre el Cáncer;
OIT	Organización Internacional del Trabajo;
PISC	Programa Internacional de Seguridad Química;
Kg	Kilogramo;
l o L	Litro;
LC <sub>50</sub>	Concentración letal, 50%; concentración de sustancia tóxica en un medio (por ejemplo agua) a la que se produzca la muerte del 50% de los especímenes del ensayo de muestreo de toxicidad; unidad para describir el grado de toxicidad de una sustancia para una especie específica, por ejemplo, peces;

<b>LD<sub>50</sub></b>	Dosis letal, 50%; dosis (ingesta) de una sustancia a la que se produce la muerte del 50% de los especímenes del ensayo de muestreo de toxicidad; unidad para describir el grado de toxicidad de una sustancia para una especie específica, por ejemplo los ensayos de laboratorio en ratas, aves u otros animales;
<b>Ciclo de vida</b>	En físico-química atmosférica: Período de tiempo en el que procesos de primer orden (o la totalidad de los procesos de primer orden) de extraer resultados en la reducción de masa de especies de mercurio en un receptor geofísico; para un receptor con especies homogéneas de mercurio, la distribución del ciclo de vida es igual a la proporción de masa de la masa contenida en el receptor en relación con la tasa de extracción. Dado que la masa de mercurio remanente en el receptor para su reacción o remoción disminuye con el tiempo, la cantidad objeto de reacción o remoción por unidad de tiempo disminuye de forma logarítmica natural. Por ejemplo, un ciclo de vida de mercurio de un año, no significa que el mercurio desaparecerá en un año si el valor de las emisiones es cero. Significa que la tasa de remoción al comienzo del período de tiempo en términos de masa por unidad, lo eliminaría en un año, pero dado que la tasa de remoción disminuye a medida que disminuye la masa restante de mercurio, la cantidad de mercurio remanente después de un año, la cantidad remanente de mercurio después de un año sería (1/e) de veces de la masa inicial, en que "e" es 2.71828183 con 8 decimales. En descripciones del ciclo de vida de productos: El período de tiempo entre la puesta en uso del producto (generalmente el momento de la compra) hasta que ya no se usa o se desecha;
<b>LNB</b>	Quemador de bajo NO <sub>x</sub> tecnología de calderas de combustión diseñada específicamente para generar niveles de óxidos de nitrógeno relativamente bajos;
<b>Load</b>	La intensidad de la carga de contaminantes en un ecosistema particular del medio natural; carga atmosférica – la intensidad de la carga procedente de la atmósfera;
<b>LOEL</b>	Nivel con efectos mínimos observados (denominado también LOAEL – lowest observed adverse effect level); para los efectos tóxicos y de otro tipo en organismos o experimentados por seres humanos;
<b>m</b>	Metro;
<b>CLM</b>	Capa límite marina; el aire inmediatamente superior a la superficie del océano, donde se da el intercambio de mercurio entre dos elementos;
<b>MetilHg o MeHg</b>	metilmercurio;
<b>tonelada métrica</b>	1000 kg;
<b>Mg</b>	Miligramo (10 <sup>-3</sup> gramo);
<b>LMR</b>	límite máximo para residuos; término utilizado en la evaluación del riesgo de los efectos tóxicos de diversos productos químicos (como el metilmercurio) en los seres humanos, US ATSDR define el LMR como una estimación del nivel de la exposición humana a un producto químico que no entraña un riesgo apreciable de efectos perjudiciales de tipo no carcinógeno en la salud (véase la sección 4.2);
<b>CSM-E</b>	Centro de sintetización meteorológica– Este (asociado a la Convención sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia LRTAP);
<b>DMS</b>	Desechos municipales sólidos;
<b>MW</b>	Megavatio;
<b>QDM</b>	Quemados de desechos municipales;
<b>MWh</b>	Megavatio/hora;
<b>Emisión natural</b>	Carga de mercurio en la atmósfera, independiente de la actividad humana presente o pasada;
<b>NEMA</b>	National Electrical Manufacturers Association (en los EE.UU.);
<b>ng</b>	nanogramo (10 <sup>-9</sup> gramo);
<b>ONG</b>	organización no gubernamental
<b>NSEO</b>	nivel sin efectos observados; para efectos tóxicos y de otro tipo en organismos o experimentados por seres;
<b>NRC</b>	National Research Council de los Estados Unidos de América;
<b>OCDE</b>	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos;
<b>pg</b>	picogramo (10 <sup>-12</sup> gramo);
<b>COP</b>	Contaminantes orgánicos persistentes;
<b>ppb</b>	partes por mil millones;

<b>ppm</b>	partes por millón;
<b>Estado preindustrial</b>	Estado preindustrial, término convenido que supone el estado del ciclo natural del mercurio antes del comienzo de la actividad industrial humana; en Europa el comienzo de una producción apreciable del mercurio se remonta a los siglos del medievo;
<b>RP</b>	Reductor de partículas; equipo diseñado para reducir las emisiones de partículas; equipo diseñado para reducir las emisiones de partículas de la combustión de gases de chimenea;
<b>Reemisión</b>	Carga secundaria de mercurio en la atmósfera procedente de receptores geoquímicos (suelos, mesas de agua marina y agua dulce) en los que se ha acumulado el mercurio como resultado de la actividad humana pasada y presente;
<b>DRf</b>	Dosis de referencia; término utilizado en la evaluación de los riesgos de los efectos tóxicos de varias sustancias químicas, (como el metilmercurio) en los seres humanos; la EPA define el DRf como un valor determinado de la exposición diaria para los seres humanos (incluidos los grupos más proclives) con una probabilidad de no encontrarse en una situación de riesgo o frente a efectos perjudiciales durante toda su vida; véase la descripción en la sección 4.2;
<b>RCS</b>	Reducción catalítica selectiva; equipo diseñado para reducir las emisiones de ciertos contaminantes procedentes de los gases de combustión de chimenea;
<b>SSA</b>	Sistema adsorbente de secador en aerosol; equipo diseñado para reducir las emisiones de ciertos contaminantes procedentes de los gases de combustión de chimenea;
<b>Escoria</b>	Material de desecho procedente de la extracción de carbón de la tierra o una sustancia procedente de la mezcla de sustancias químicas con un metal calentado hasta su estado líquido a fin de separar sustancias no deseadas de éste;
<b>RNCS</b>	Reducción no catalítica selectiva; equipo diseñado para reducir las emisiones de ciertos contaminantes procedentes de los gases de combustión de chimenea;
<b>VLU</b>	Valor límite umbral;
<b>MPT</b>	media ponderada por el tiempo;
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas;
<b>CNUMAD</b>	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo;
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente;
<b>US EPA</b>	Organismo para la Protección del Medio Ambiente (Estados Unidos de América);
<b>EE.UU.</b>	Estados Unidos de América
<b>Deposición húmeda</b>	Descarga de sustancias desde la atmósfera a la superficie subyacente, con precipitación atmosférica;
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud;

## Referencias

1. Akagi, H. and Naganuma, A. (2000?): Methylmercury accumulation in Amazonian inhabitants associated with mercury pollution. Paper submitted by Japan (as part sub6gov). (Publication status and year not mentioned – from the text the year of creation appears to be 2000 or later).
2. Albers, J.W., Kallenbach, L.R., Fine, L.J., Langolf, G.D., Wolfe, R.A., Donofrio, P.D., Alessi, A.G., Stolp-Smith, K.A. and Bromberg, M.B. (1998): Neurological abnormalities associated with remote occupational elemental mercury exposure. *Annals of Neurology* 24: 651-659.
3. Alcer, K.H., Birt, K.A. and Fine, L.J. (1989): Occupational mercury exposure and male reproductive health. *American Journal of Industrial Medicine* 15: 517-529.
4. Al-Mufti, A.W., Coplestone, J.F. and Kazanitzis, G. (1976): Epidemiology of organomercury poisoning in Iraq: I. Incidence in a defined area and relationship to the eating of contaminated bread. *Bulletin of the World Health Organization* 53 (suppl): 23-36.
5. AMAP (1998): Assessment report: *Arctic Pollution Issues*. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, 1998.
6. AMAP (2000): *AMAP report on issues of concern: Updated information on human health, persistent organic pollutants, radioactivity, and mercury in the Arctic*. AMAP Report 2000:4, found on www.amap.no, July 2001.
7. Ambrose, R.B. and Wool, T.A. (2002): Modelling mercury fate in seven Georgia watersheds. Abstract in *Proceedings and summary report workshop on the fate, transport, and transformation of mercury in aquatic and terrestrial environments*, EPA/625/R-02/005, June 2002.
8. Annema, Paardekooper, Brooji, van Oers, van der Voet and Mulder (1995): *Stofstromanalyse van zes zware metalen; Gevolgen van autonome ontwikkelingen en maatregelen*. CML and RIVM for VROM, The Netherlands, 1995. As cited in Maxson and Vonkeman (1996).
9. Anwar, W.A. and Gabal, M.S. (1991): Cytogenetic study in workers occupationally exposed to mercury fulminate. *Mutagenesis* 6:189-192.
10. Appel, P., Glahder, C.M., Mnali, S., Muhongo, S., Petro, F., Rasmussen, T.M., Stendal, H., Temu, E.B., Thorning, L. and Tukiainen, T. (2000): *An integrated approach to mineral exploitation and environmental assessment in southern and eastern Tanzania*. GEUS report 2000/16, Geological Survey of Denmark and Greenland, Copenhagen, Denmark, 2000.
11. Ariya, P.A., Ghalizov, A. and Gidas, A. (2002): Reactions of gaseous mercury with atomic and molecular halogens: Kinetics, products studies and atmospheric implications. *Journal of Physical Chemistry-A*, 106, 7310-7320.
12. Aronow, R., Cubbage, C., Wisner, R., Johnson, B., Hesse, J. and Bedford, J. (1990): Mercury exposure from interior latex paint. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 39(8): 125-126.
13. Axenfeld, F., Munch, J. and Pacyna, J.M. (1991): Europäische Test-Emissionsdatenbasis von Quecksilber-komponenten für Modellrechnungen. *Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit, Luftreinhaltung*: 104 02 726, Friedrichshafen, Germany.
14. Axtell, C., Cox, C., Myers, G., Davidson, P., Choi, A., Chernichiari, E., Sloane-Reeves, J., Shamlaye, C. and Clarkson, T. (2000): Association between methylmercury exposure from fish consumption and child development at five and a half years of age in the Seychelles child development study: an evaluation of nonlinear relationships. *Environmental Research*, Section A; 84:71-80.
15. Baeyens, W., Ebinghaus, R. and Valiliev, O. (eds.) (1996): Global and regional mercury cycles: Sources, fluxes and mass balances. NATO ASI Series, 2. *Environment* - Vol. 21. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
16. Bailey, E. H., Clark, A. L. and Smith, R. M. (1973): Mercury. *USA Geological Survey Prof. Pap.* 821, 410-414. As quoted by MSC-E of EMEP (comm-4-igo).
17. Bailey, E.A., Gray, J.E. and Hines, M.E. (2001): Mercury transformations in soils near mercury mines in Alaska, *Materials and Geoenvironment* 48, 1, 212-218.
18. Bakir, F., Damluji, S.F., Amin-Zaki, L., Murtadha, M., Khalidi, A., Al-Rawi, N.Y., Tikriti, S., Dhahir, H.I., Clarkson, T.W., Smith, J.C. and Doherty, R.A. (1973): Methylmercury Poisoning in Iraq. *Science* 181: 230-241.
19. Barr, J.F. (1986): Population dynamics of the common loon (*Gavia immer*) associated with mercury-contaminated waters in northwestern Ontario. *Canadian Wildlife Service Occas Pap No 56*. Ottawa, Canada. 25 pp.
20. Barregard, L., Eneström, S., Ljunghusen, O., Wieslander, J. and Hultman, P. (1997): A study of autoantibodies and circulating immune complexes in mercury-exposed chloralkali workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 70; 101-106.
21. Barregard, L., Hogstedt, B., Schutz, A., Karlsson, A., Sallsten, G. and Thiringer, G. (1991): Effects of occupational exposure to mercury vapour on lymphocyte micronuclei. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 17: 263-268.
22. Barregard, L., Hultberg, B., Schütz, A. and Sallsten, G. (1988): Enzymuria in workers exposed to inorganic mercury. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 61: 65-69.
23. Barregard, L., Lindstedt, G., Schütz, A. and Sallsten, G. (1994): Endocrine function in mercury exposed chloralkali workers. *Occupational Environmental Medicine* 51: 536-540.
24. Barregard, L., Quelquejeu, G., Sallsten, G., Haguenoer, J.M. and Nisse, C. (1996): Dose-dependent elimination kinetics for mercury in urine - observations in subjects with brief but high exposure. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 68: 345-348.
25. Barregard, L., Sallsten, G. and Conradi, N. (1999): Tissue levels of mercury in a deceased worker after occupational exposure. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 1999b; 72:169-173.
26. Barregard, L., Sallsten, G. and Jarvholm, B. (1990): Mortality and cancer incidence in chloralkali workers exposed to inorganic mercury. *British Journal of Industrial Medicine* 47(2): 99-104.



27. Barregard, L., Sällsten, G., Järholm, B. (1995): People with high mercury uptake from their own dental amalgam fillings. *Occupational Environmental Medicine* 52:124-128.
28. Becker, C.G., Becker, E.L., Maher, J.F. and Schreiner, G.E. (1962): Nephrotic syndrome after contact with mercury. *Archives of Internal Medicine*, 1962; 110:82-90.
29. Becker, W. and Kumpulainen, J. (1991): Contents of essential and toxic mineral elements in Swedish market-basket diets in 1987. *British Journal of Nutrition* 66: 151-60.
30. Berg, T., Sekkesæter, S., Steinnes, E., Valdal, A-K. and Wibetoe, G. (2002) : Arctic springtime depletion of mercury in the European Arctic as observed at Svalbard. *Science of the Total Environment*.
31. Bergan, T. and Rohde, H. (2001): Oxidation of elemental mercury in the atmosphere; constraints imposed by global scale modeling. *Journal of Atmospheric Chemistry* 40, 191-212.
32. Bergan, T., Gallardo, L. and Rohde, H. (1999): Mercury in the global troposphere - a three-dimensional model study. *Atmospheric Environment* 33 (1999), pp. 1575-1585.
33. Bergstrom (1983): Separation of mercury in electrostatic filters and by flue gas desulfurization. *KHM Technical Report* No. 89, The Swedish State Power Board, Vallingby, Sweden (in Swedish).
34. Beusterien, K.M. *et al.* (1991): Indoor air mercury concentrations following application of interior latex paint. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 21(1): 62-64.
35. Bhattacharya, B. and Sarkar, S.K. (1996): *Chemosphere*, Vol. 33, 147-158, 1996, as referenced in comments from India (Comm-13-gov).
36. Bidstrup, P., Bonnell, J. and Harvey, D.G. (1951): Chronic mercury poisoning in men repairing direct current meters. *Lancet* 1951:856-861.
37. Biernat, H., Ellias, S.A., Wermuth, L., Cleary, D., de Oliveira Santos, E.C., Jørgensen, P.J., Feldman, R.G. and Grandjean, P. (1999): Tremor frequency patterns in mercury vapor exposure, compared with early Parkinson's disease and essential tremor. *Neurotoxicology* 1999; 20:945-952.
38. Block, E. (1985): The chemistry of garlic and onions. *Scientific American*. 1985 252(3): 114-119.
39. Bluhm, R.E., Bobbitt, R.G., Welch, L.W., Wood, A.J., Bonfiglio, J.F., Sarzen, C. and Branch, R.A. (1992): Elemental mercury vapour toxicity, treatment, and prognosis after acute, intensive exposure in chloralkali plant workers: Part I. History, neuropsychological findings and chelator effects. *Human and Experimental Toxicology* 1992;11:201-210.
40. Boening, D. W. (2000): Ecological effects, transport, and fate of mercury; a general review. *Chemosphere*, vol. 40, 12, pp. 1335-1351.
41. Boffetta, P., Garcia-Gómez, M., Pompe-Kirn, V., Zaridze, D., Bellander, T., Bulbulyan, M., Diego Caballero, J., Ceccarelli, F., Colin, D., Dizdarevic, T., Español, S., Kobal, A., Petrova, N., Sallsten, G. and Merler, E. (1998): Cancer occurrence among European mercury miners. *Cancer Causes and Control* 1998; 9:591-9.
42. Boffetta, P., Merler, E. and Vainio, H. (1993): Carcinogenicity of mercury and mercury compounds. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 1993; 19: 1-7.
43. Boffetta, P., Sallsten, G., Garcia-Gómez, M., Pompe-Kirn, V., Zaridze, D., Bulbulyan, M., Caballero, J-D., Ceccarelli, F., Kobal, A. and Merler, E. (2001): Mortality from cardiovascular diseases and exposure to inorganic mercury. *Occupational and Environmental Medicine* 2001; 58: 461-466.
44. Boischio, AAP. and Henshel, D. (2000): Fish consumption, fish lore, and mercury pollution - Risk communication for the Madeira River people. *Environmental Research* 2000; 84(2): 108-126.
45. Borjesson, J., Barregård, L., Sällsten, G., Schütz, A., Jonson, R., Alpsten, M. and Mattsson, S. (1995): In vivo XRF analysis of mercury: the relation between concentrations in the kidney and the urine. *Physics in Medicine and Biology* 40: 413-426.
46. Böse-O'Reilly, S., Maydl, S., Drasch, G. and Roider, G. (2000), *Mercury as a health hazard due to gold mining and mineral processing activities in Mindanao/Philippines – Final report*, UNIDO Project No. DP/PHI/98/005, Institute of Forensic Medicine, Ludwig-Maximilians-University, Munich, Germany, 15 April 2000.
47. Boudries, H. and Bottenheim, J. W. (2000): Cl and Br atom concentrations during a surface boundary layer ozone depletion event in the Canadian High Arctic. *Geophysical Research Letters* 27, 517-520.
48. Bowles, K.C. (1998): Mercury Cycling in Aquatic Systems. PhD thesis, University of Canberra, Canberra, Australia. Presentation made at the *5th International Conference on Mercury as a Global Pollutant*, Rio de Janeiro, May 1999.
49. Braune, B.M. *et al.* (1999): Spatial and temporal trends of contaminants in Canadian Arctic freshwater and terrestrial ecosystems: a review. *The Science of the Total Environment* 230:145-207, 1999.
50. Bringmark, L. and Bringmark, E. (2001a): Soil respiration in relation to small-scale patterns of lead and mercury in mor layers of South Swedish forest sites. *Water, Air and Soil Pollution* (in print).
51. Bringmark, L. and Bringmark, E. (2001b): Lowest effect levels of lead and mercury added to mor layer in a long-term experiment. *Water, Air and Soil Pollution* (in print).
52. Brodsky, JB., Cohen, EN., Whitcher, C., Brown, BWJ. and Wu, ML. (1985): Occupational exposure to mercury in dentistry and pregnancy outcome. *Journal of the American Dental Association* 111:779-780.
53. Brosset, C. (1982): Total airborne mercury and its origin. *Water, Air and Soil Pollution* 17, 37-50.
54. Brown, T.D. *et al.* (1999): Critical Review: Mercury Measurements and Control: What We Know, Have Learned and Further Need to Investigate, *Journal of the Air & Waste Management Association*, June 1999, pp 1-97.
55. Buchet, J., Roels, H., Bernard, A. and Lauwerys, R. (1980): Assessment of renal function of workers exposed to inorganic lead, cadmium, or mercury vapor. *Journal of Occupational Medicine* 1980; 22:741-750.

56. Buchet, J.P. *et al.* (1983): Oral daily intake of cadmium, lead, manganese, chromium, mercury, calcium, zinc, and arsenic in Belgium. A duplicate meal study. *Food and Chemical Toxicology* 21: 19-24.
57. Budtz-Jørgensen, E., Grandjean, P., Keiding, N., White, R.F. and Weihe, P. (2000): Benchmark dose calculations of methylmercury associated neurobehavioural deficits. *Toxicology Letters* 2000; 112-113:193-199.
58. Bulat, P., Dujic, I., Potkonjak, B. and Vidakovic, A. (1998): Activity of glutathione peroxidase and superoxide dismutase in workers occupationally exposed to mercury. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 1998; 71; Suppl. S37-39.
59. Bullock, OR. Jr. (2000): Current methods and research strategies for modeling atmospheric mercury. *Fuel Processing Technology* 65/66: 459-471.
60. Bullock, OR. Jr. and Brehme, K.A. (2002): Atmospheric mercury simulation using the CMAQ model: Formulation description and analysis of wet deposition results. *Atmospheric Environment* 36: 2135-2146.
61. Bullock, OR. Jr., Benjey, W.G. and Keating, M.H. (1997): Modeling of regional scale atmospheric mercury transport and deposition using RELMAP. Chapter 18 in: Baker J (Ed.): *Atmospheric deposition of contaminants to the Great Lakes and coastal waters*. SETAC Press, Pensacola, FL, USA, pp. 323-348.
62. Burger, J. (1997): Ecological effects of biomonitoring for mercury in tropical ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 97: 265-272
63. Burger, J. and Gochfeld, M. (1997): Risk, Mercury Levels, and Birds: Relating Adverse Laboratory Effects to Field Monitoring. *Environmental Research* 75, pp 160-172.
64. Burgess, N. (1998): Mercury in Atlantic Canada: A progress Report. Mercury Team Regional Science Coordinating Committee. Environment Canada, Atlantic Region. 1998.
65. Burgess, N.M. and Braune, B.M. (2001): Increasing trends in mercury concentrations in Atlantic and Arctic seabird eggs in Canada. *Poster presentation*, SETAC Europe, 2001.
66. Buzina, R., Stegnar, P., Buzina-Subotičanec, K., Horvat, M., Petric, I. and Farley T.M.M. (1995): Dietary mercury intake and human exposure in an Adriatic population, *Science of the Total Environment* 170: 199-208.
67. Canadian Dept. of Fisheries and Oceans (1998): cited in the Canadian submission.
68. Cardenas, A., Roels, H., Bernard, A.M., Barbon, R., Buchet, J.P., Lauwerys, R.R., Rosello, J., Hotter, G., Mutti, A. and Franchini, I. (1993): Markers of early renal changes induced by industrial pollutants. I. Application to workers exposed to mercury vapour. *British Journal of Industrial Medicine* 1993; 50:17-27.
69. Caux, P.Y., Roe, S., Roberts, E., and Kent, R. (2000): A Canada-wide GIS analysis of methylmercury in fish: Exploring and communicating relative risks to wildlife. Poster presented at the 21<sup>st</sup> annual meeting of the Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Nashville, TN, Nov. 12-16.
70. CDC (2001): Blood and hair mercury levels in young children and women of childbearing age - United States, 1999. *CDC – Morbidity and Mortality Weekly Report*, March 2001 (seen June 4., 2001 on <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5008a2.htm>).
71. Cernichiari, E., Toribara, T.Y., Liang, L., Marsh, D.O., Berlin, M.W., Myers, G.J., Cox, C., Shamlaye, C.F., Choisy, O., Davidson, P. and Clarkson, T.W. (1995): The biological monitoring of mercury in the Seychelles study. *Neurotoxicology* 1995;16: 613-628.
72. CETEM (1993): Fontes e usos de mercúrio. In Itaituba Project. *Annual Report*. CETEM/CNPq, Rio de Janeiro (In Portuguese). As cited by Maxson and Vonkeman (1996), who are in turn cited by Scoullou *et al* (2000).
73. CETEM (1994): Estudo dos Impactos Ambientais decorrentes do Extrativismo Mineral e Poluição Mercurial no Tapajós – pre-diagnosis. *Mineral Technology Serie*. Rio de Janeiro-RJ. Cetem/Seicom, 1994.
74. CETEM, Ferreira, R.C.H. and Appel, L.E. (1992): *Fontes e usos de mercúrio no Brasil. Estudos e documentos*, 13. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq. 2nd ed. 1992 (In Portuguese). As cited by Hylander *et al*, 1994.
75. CETEM/IMAAC/CYTED (2001): Mercury in the Tapajós Basin, Roberto C. Villas-Bôas, Christian Beinhoff, Alberto Rogério da Silva (eds), Center for Minerals Technology of the Brazilian Research Council reporting on *UNIDO Workshop* in Belém, Pará, Brazil (Project EG/GLO/97/G43), Rio de Janeiro, 2001.
76. Chalon, S., Delion-Vancassel, S., Belzung, C., Guilloteau, D., Leguisquet, A.M., Besnard, J.C. and Durand, G. (1998): Dietary fish oil affects monoaminergic neurotransmission and behavior in rats. *Journal of Nutrition* 1998; 128:2512-2519.
77. Chapman, L. and Chan, H.M. (2000): The influence of nutrition on methylmercury intoxication. *Environmental Health Perspectives* 2000; 108 (Suppl.1): 29-56.
78. Chapman, L.J., Sauter, S.L., Henning, R.A., Dodson, V.N., Reddan, W.G. and Matthews, C.G. (1990): Differences in frequency of finger tremor in otherwise asymptomatic mercury workers. *British Journal of Industrial Medicine* 1990; 47:838-843.
79. Cinca, I., Dumetrescu, I., Onaca, P., Serbanescu, A. and Nestorescu, B. (1979): Accidental ethyl mercury poisoning with nervous system, skeletal muscle, and myocardium injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 1979; 43:143-149.
80. Claisse, D., Cossa, D. and Bretraudeau-Sanjuan, J. (2001): Methylmercury in molluscs along the French coast. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 42, pp. 329-332.
81. Clarkson, T.W., Friberg, L., Hursh, J.B. and Nylander, M.. (1988): The prediction of intake of mercury vapour from amalgams. In: Clarkson, T.W., Friberg, L., Nordberg, G.F. and Sager, P.R., eds. *Biological monitoring of toxic metals*, New York, London, Plenum Press., pp. 247-264.
82. CMAI - Chemical Marketing Association, Inc. (1999): Chlorine, world capacity tables: Chemical Marketing Association, Inc., 11601 Katy Frwy, Number 22, Houston, Tex., 48 p. as cited by Sznopke and Goonan (2000).
83. Codex Alimentarius (1991): *Guideline Levels for Mercury in Fish (CAC/GL 7-1991)* adopted by the Commission at its Nintenth Session, 1991 - <http://www.who.int/fsf/Codexreview/methylmercury.htm>.
84. Coolbaugh, M.F., Gustin, M.S. and Rytuba, J.J. (2002): Annual emissions on mercury to the atmosphere from three natural source areas in Nevada and California, *Environmental Geology* 42: 338-349.

85. Cordier, S., Deplan, F., Mandereau, L. and Hemon, D. (1991): Paternal exposure to mercury and spontaneous abortions. *British Journal of Industrial Medicine* 1991; 48: 375-381.
86. Cossa, D. (1994): Le mercure en milieu marin, le cas du littoral français dans le contexte d'une contamination à l'échelle planétaire. *Revue Equinoxe* no. 47-48, 1994.
87. Crump, K., Kjellstrom, T., Shipp, A., Silvers, A. and Stewart, A. (1998): Influence of prenatal mercury exposure on scholastic and psychological test performance: statistical analysis of a New Zealand cohort. *Risk Analysis* 1998; 18: 701-713.
88. Crump, K., Landingham, C., Shamlaye, C., Cox, C., Davidson, P., Myers, G. and Clarkson, T. (2000): Benchmark calculations for methylmercury obtained from the Seychelles child development study. *Environmental Health Perspectives* 2000; 108:257-263.
89. Curlic, J., Sefcik, P. and Viechova, Z. (eds) (2000): *Proceedings from meeting of the ad hoc international expert group on effect-based critical limits for heavy metals*. Report from Soil Science and Conservation Research Institute, Bratislava.
90. Dahl, J.E., Sundby, J., Hensten-Pettersen, A. and Jacobsen, N. (1999): Dental workplace exposure and effect on fertility. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 1999, 25: 285-90.
91. Davidson, P.W., Kost, J., Myers, G.J., Cox, C., Clarkson, T.W. and Shamlaye, C. (2001): Methylmercury and neurodevelopment: Reanalysis of the Seychelles Child Development Study outcomes at 66 months of age. *Journal of the American Medical Association* 2001; 285: 1291-1293.
92. Davidson, P.W., Myers, G.J., Cox, C., Axtell, C., Shamlaye, J., Sloane-Reeves, J., Cernichiari, E., Needham, L., Choi, A., Wang, Y., Berlin, M. and Clarkson, T.W. (1998): Effects of prenatal and postnatal methylmercury exposure from fish consumption on neurodevelopment: Outcomes at 66 months of age in the Seychelles Child Development Study. *Journal of the American Medical Association*, 280(8): 701-707. As presented in National Academy of Sciences, 2000.
93. Davis, L.E., Kornfeld, M., Mooney, H.S., Fiedler, K.J., Haaland, K.Y., Orrison, W.W., Cernichiari, E. and Clarkson, T.W. (1994): Methylmercury poisoning: long-term clinical, radiological, toxicological, and pathological studies of an affected family. *Annals of Neurology* 1994; 35: 680-688.
94. Denton, G.R.W., Wood, H.R., Concepcion, L.P., Siegrist, H.G., Vann, D.T. and Wood, H.R. (2001): Contaminant assessment of surface sediments from Tanapag Lagoon, Saipan. *WERI Technical Report No. 93*, 110 pp.
95. DHV (1996): Verwijdering van kwikhoudende produkten in Nederland, DHV for VROM, The Netherlands, 1996. As cited in Maxson and Vonkeman (1996).
96. Dickman, M.D. and Leung, K.M. (1998): Mercury and organochlorine exposure from fish consumption in Hong Kong. *Chemosphere* 37: 991-1015.
97. Dietz, R., Riget, F. and Born, E.W. (2000): An assessment of selenium to mercury in Greenland marine animals. *Science of the Total Environment* 2000; 245: 15-24.
98. Downs, S.G., Macleod, C.L., Jarvis, K., Birkett, J.W. and Lester, J.N. (1999): Comparison of mercury bioaccumulation in eel (*Anguilla anguilla*) and roach (*Rutilus rutilus*) from river systems in East Anglia, UK – I. Concentrations in fish tissue. *Environmental Technology* 20, 1189-1200.
99. Drasch, G., Wanghofer, E., Roider, G. and Strobach, S. (1996): Correlation of mercury and selenium in the human kidney. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 1996; 10:251-254.
100. Ebinghaus, R., Kock, H.H., Temme, C., Einax, J.W., Lowe, A.G., Richter, A., Burrows, J.P. and Schroeder, W.H. (2002): Antarctic Springtime Depletion of Atmospheric Mercury. *Environmental Science and Technology* 36, 1238-1244.
101. Ehrenberg, R.L., Vogt, R.L. and Smith, A.B. (1991): Effects of elemental mercury exposure at a thermometer plant. *American Journal of Industrial Medicine* 1991; 19: 495-507.
102. EIPPCB (2000): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) *Reference Document on Best Available Techniques in the Chlor-Alkali Manufacturing industry*, European IPPC Bureau, European Commission, Directorate-General JRC (Joint Research Centre), Institute for Prospective Technological Studies (Seville), Technologies for Sustainable Development, October 2000.
103. Elghancy, N.A., Stopford, W., Bunn, W.B. and Fleming, L.E. (1997): Occupational exposure to inorganic mercury vapor and reproductive outcomes. *Occupational Medicine* (Lond) 1997; 47:333-6.
104. Ellingsen, D., Andersen, A., Nordhagen, H.P., Efskind, J. and Kjuus, H. (1993): Incidence of cancer and mortality among workers exposed to mercury vapour in the Norwegian chloralkali industry. *British Journal of Industrial Medicine* 1993; 50: 875-880.
105. Ellingsen, D.G., Barregard, L., Gaarder, P.I., Hultberg, B. and Kjuus, H. (1993a): Assessment of renal dysfunction in workers previously exposed to mercury vapour at a chloralkali plant. *British Journal of Industrial Medicine* 1993 Oct; 50(10): 881-7.
106. Ellingsen, D.G., Efskind, J., Haug, E., Thomassen, Y., Martinsen, I. and Gaarder, P.I. (2000): Effects of low mercury vapour exposure on the thyroid function in chloralkali workers. *Journal of Applied Toxicology* 2000b;20:483-489.
107. Ellingsen, D.G., Bast-Pettersen, R., Efskind, J. and Thomassen, Y. (2001): Neuropsychological effects of low mercury vapor exposure in chloralkali workers. *Neurotoxicology* 2001; 22:249-258.
108. Endre, B., Einarsson, S., Nyström, M., Rahbek, L.W., von Rein, K. and Hansen, E. (secretary) (1999): Treatment and disposal of mercury waste – Strategic elements proposed by a Nordic expert group. *TemaNord* 1999:554, Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
109. Eneström, S. and Hultman, P. (1995): Does amalgam affect the immune system? A controversial issue. *International Archives of Allergy and Immunology* 1995; 106: 180-203.
110. Environment Canada (2001): Mercury: Fishing for Answers. *Status and Trends Report No. 2*. National Guidelines and Standards Office. Environment Canada. Ottawa, Canada.
111. Ericsson, A. and Källén, B. (1989): Pregnancy outcome in women working as dentists, dental assistants or dental technicians. *British Journal of Industrial Medicine* 47: 639-644.

112. Ernst, E. and Coon, J.T. (2001): Heavy metals in traditional Chinese medicines: A systematic review. *Clinical Pharmacology and Therapeutics* 2001, Vol. 70; Number 6: 497-504.
113. Euro Chlor (1998): *Chlorine Industry Review 1997-1998*, Euro Chlor, Brussels, 1998.
114. European Commission (2002): COM (2002) 489 final: *Report from the Commission to the Council Concerning Mercury from the Chlor-Alkali Industry*, Commission of the European Communities, Brussels, 6 September 2002.
115. Evers, D.C., Kaplan, J.D., Meyer, M.W., Reaman, P.S., Braselton, W.E., Major, A., Burgess, N. and Scheuhammer, A.M. (1998): A geographic trend in mercury measured in common loon feathers and blood. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17(173-183), 1998.
116. Fagala, G.E. and Wigg, C.L. (1992): Psychiatric manifestations of mercury poisoning. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 1992; 31:306-311.
117. Falk, J. (1994): Personal communication, Philips, Copenhagen, Denmark, 1994.
118. Falnoga, I., Tusek-Znidaric, M., Horvat, M. and Stegnar, P. (2000): Mercury, Selenium, and Cadmium in Human Autopsy Samples from Idrija Residents and Mercury Mine Workers. *Environmental Research* 2000; 84: 211-218.
119. FAO/WHO (1999): Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), Fifty-third meeting, Rome, 1-10 June 1999 - <http://www.who.int/pcs/jecfa/Summary53revised.pdf>.
120. Farid, L.H., Machado, J.E.B. and da Silva, A.O. (1991): Controle da emissão e recuperação de mercúrio em rejeitos de garimpo, in Veiga, M.M. and Fernandes, F.C.R. (eds), Poconé: Um campo de estudos do impacto ambiental do garimpo, *Tecnologia Ambiental*, 1, CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 27-43 (in Portuguese).
121. Fauh (1991): Alkali and Chlorine Products. Chlorine and Sodium Hydroxide. (In) Kirk-Othmer *Encyclopedia of Chemical Technology*, Volume 1, 4th ed.; J.I. Kroschivitz (exec. editor). John Wiley and Sons, New York, 1991.
122. Fawer, R.F., de Ribaupierre, Y., Guillemin, M.P., Berode, M. and Lob, M. (1983): Measurement of hand tremor induced by industrial exposure to metallic mercury. *British Journal of Industrial Medicine* 1983; 40:204-208.
123. Feng, Q., Suzuki, Y. and Hisashige, A. (1998): Hair mercury levels of residents in China, Indonesia and Japan. *Archives of Environmental Health*, Vol. 53, No. 1, January/February 1998.
124. Fimreite, N. (1970): Mercury uses in Canada and their possible hazard as sources of mercury contamination. *Environmental Pollution* 1: 119-131.
125. Finnish Environment Institute (1999): Atmospheric emissions of heavy metals in Finland in the 1990's. *The Finnish Environment* No. 329, Finnish Environment Institute, Helsinki (in Finnish).
126. Finnish National Authority for Foodstuff (2002): Risk Report- Chemical Threats to Food and Supply of Water (In Finnish). Valvontaopas-sarja 2/2002. (Supervisory-guide 2/2002).
127. Fitzgerald, W.F. (1986): Cycling of Mercury between the Atmosphere and Oceans. In: Buat-Ménard, P., ed., *The role of Air-sea Exchange in Geochemical Cycling*. R. Reidel Publishing Company, 363-408.
128. Fitzgerald, W.F., Engstrom, D.R., Mason, R.P. and Nater, E.A. (1998): The case for atmospheric mercury contamination in remote areas. *Environmental Science and Technology*, Vol. 32, No. 1, 1998.
129. Fouassin, A. and Fondu, M. (1978): Evaluation de la teneur moyenne en mercure de la ration alimentaire en Belgique. *Archives Belges de Medecine Sociale, Hygiene, Medecine du Travail et Medecine Legale*, 36: 481-490.
130. Foulds, D., Copeland, K. and Franks, R. (1987): Mercury poisoning and acrodynia. *American Journal of Diseases of Children* 1987; 141: pp 124-125.
131. Franchi, E., Loprieno, G., Ballardini, M., Petrozzi, L. and Migliore, L. (1994): Cytogenetic monitoring of fishermen with environmental mercury exposure. *Mutation Research* 1994; 320:23-29.
132. Fréry, N., Jouan, M., Maillot, E. and Deheeger, M. (1999): Exposition au mercure de la population amérindienne Wayana de Guyane – Enquête alimentaire. INVS (Institut de Veille Sanitaire), June 1999. Available at <http://www.invs.sante.fr/publications/mercure>.
133. Friedmann, A.S., Watzin, M.C., Brinck-Johnsen, T. and Leiter, J.C. (1996): Low levels of dietary methylmercury inhibit growth and gonadal development in juvenile walleye (*Stizostedion vitreum*). *Aquatic Toxicology* 35: 265-278.
134. Frumkin, H., Letz, R., Williams, P.L., Gerr, F., Pierce, M., Sanders, A., Elon, L., Manning, C.C., Woods, J.S., Hertzberg, V.S., Mueller, P. and Taylor, B.B. (2001): *American Journal of Industrial Medicine* 2001 Jan; 39(1): 1-18. Health effects of long-term mercury exposure among chloralkali plant workers.
135. Gangaiya, P., Brodie, J.E. and Morrison, R.J. (1988): Baseline study of the Vitogo river and associated environment, Western Viti Levu, Fiji. *UNEP Regional Seas Programme Reports and Studies* No. 93, 27 pp (also published as SPREP Topic Review No. 28).
136. Garvey, J.G., Hahn, G., Lee, R.V. and Harbison, R.D. (2001): Heavy metal hazards of Asian traditional remedies. *International Journal of Environmental Health Research* 2001, 11: 63-71.
137. Global Mercury Assessment Working Group - Philippines delegation (2002): Meeting of the Global Mercury Assessment Working Group, Geneva, Switzerland, 9-13 September 2002.
138. Gobi International (1998): The Gobi report on mercury, CD ROM: version 2.2. As cited by Sznopek and Goonan, 2000.
139. Goyer, R.A. (1997): Toxic and essential metal interactions. *Annual Review of Nutrition* 1997; 17: 37-50.
140. Grandjean, P., Weihe, P., Burse, V.W., Needham, L.L., Storr-Hansen, E., Heinzow, B., Debes, F., Murata, K., Simonsen, H., Ellefsen, P., Budtz-Jorgensen, E., Keiding, N. and White, R.F. (2001): Neurobehavioral deficits associated with PCB in 7-year-old children prenatally exposed to seafood neurotoxicants. *Neurotoxicology and Teratology* 2001; 23: 305-17.
141. Grandjean, P., Weihe, P., White, R.F., Deves, F., Araki, S., Yokoyama, K., Murata, K., Sorensen, N., Dahl, R. and Jorgensen, P.J. (1997): *Neurotoxicology and Teratology* 1997, 20, 1.

142. Greenpeace (1994): Greenpeace inventory of toxic technologies - mercury amalgamation process in gold production. As cited by Scoullou *et al.*, 2000.
143. Groupe de travail de l'AGHTM (1999): Dechets mercuriel en France [Mercurial waste in France]. *TSM Techniques Science Methods* 7-8/1999: 20-48. (In French, with abstract in English).
144. Gustafsson, E. (1997): Mercury in products and available substitutes. *Discussion paper* submitted by Sweden at the meeting of designated experts, Geneva, 17-21 March 1997, on annexes to the UN-ECE LRTAP Heavy Metals Protocol. Swedish National Chemicals Inspectorate.
145. Gustafsson, E.. (2001): Personal communication. Swedish National Chemicals Inspectorate (KEMI), October 2001.
146. Hac, E., Krzyzanowski, M. and Krechniak, J. (2000): Total mercury concentrations in human renal cortex, liver, cerebellum and hair. *Science of the Total Environment* 2000; 248:37-43.
147. Håkansson, L. and Andersson, T. (1990): Mercury in the Swedish mor layer linkages to mercury deposition and sources of emission. *Water, Air and Soil Pollution* 50: 311-330. As cited by von Rein and Hylander (2000).
148. Han, BC., Jeng, WL., Chen, RY., Fang, GT., Hung, TC. and Tseng, RJ. (1998): Estimation of target hazard quotients and potential health risks for metals by consumption of seafood in Taiwan. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 1998; 35(4): 711-720.
149. Hansen, E. (1985): Forbrug og forurening med kviksølv i Danmark - materialestrømsanalyse (substance flow assessment for mercury in Denmark). COWI for Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen (in Danish).
150. Hansen, E. and Lassen, C. (2000): Paradigm for Substance Flow Analysis. Guide for SFAs carried out for the Danish EPA. Environmental Project No. 577 2000. The Danish EPA, Copenhagen. Available on DEPA's homepage www.mst.dk.
151. Hansen, J.C. (1990): Human exposure to metal through consumption of marine foods: A case study of exceptionally high intake among Greenlanders. In: Furness, R.W. and Rainbow, P.S. (eds.): *Heavy metals in the marine environment*, pp. 227-243. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. As cited in AMAP, 1998.
152. Hansen, J.C. and Pedersen, H.S. (1986): Environmental exposure to heavy metals in North Greenland. *Arctic Medical Research* 41: 21-34. As cited in AMAP, 1998.
153. Harada, M. (1995): Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. *CRC Critical Reviews in Toxicology* 1995; 25: 1-24.
154. Harada, M. (1997): Neurotoxicity of methylmercury: Minamata and the Amazon. pp. 177-188 in *Mineral and Metal Neurotoxicology*, Yasui, M., Strong, M.J., Ota, K. and Verity, M.A. eds. Boca Raton, FL; CRC Press. 1997.
155. Harris, M. (2001): Phase-out Issues for Mercury Cell Technology in the Chlor-Alkali Industry, Chapter 2 of *Modern Chlor-Alkali Technology*, Moorhouse, J. (ed.), Blackwell Science, ISBN 0-632-05559-6.
156. Hedgecock, I. and Pirrone, N. (2001): Mercury and Photochemistry in the Marine Boundary Layer - Modeling Studies for *in-situ* Production of Reactive Gas Phase Mercury. *Atmospheric Environment* 35, 3055-3062.
157. Hedgecock, I., Pirrone, N., Sprovieri, F. and Pesenti, E., (2002): Reactive Gaseous Mercury in the Marine Boundary Layer: Experimental and Modelling Evidence for its Formation in the Mediterranean. *Atmospheric Environment*, in press.
158. Heidam, LZ. (1984): Spontaneous abortions among dental assistants, factory workers, painters, and gardening workers. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 38:149-155.
159. HELCOM (2001): Fourth periodic assessment of the state of the environment of the Baltic marine area, 1994-1998. *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 82. Helsinki Commission, Helsinki, Finland (preliminary drafts, publication in preparation).
160. Heron, H. (2001): Personal communication. Danish Environmental Protection Agency, June 2001.
161. Hladíková, V., Petrik, J., Jursa, S., Ursínyová, M. and Kočan, A. (2001): Atmospheric mercury levels in the Slovak Republic. *Chemosphere* 45: 801-806.
162. Horvath (1986): The ELTECH Membrane Gap Cell for the Production of Chlorine and Caustic. (In) *Modern Chlor-alkali Technology*, Volume 3; K. Wall (ed.). Ellis Horwood Limited, Chichester, London, 1983.
163. Hudson, R.J.M., Gherini, S.A., Watras, C.J. and Porcella, D.B. (1994): Modeling the biogeochemical cycle of mercury in lakes: The Mercury Cycling Model (MCM) and its application to the MTL Study lakes. In: Watras, C.J. and Huckabee, J.W. (eds.). *Mercury as a global pollutant: Toward integration and synthesis*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 473-523.
164. Hylander, L.D. (2001): *Water, Air and Soil Pollution* 125: 331-344, 2001. As cited in comm-3-ngo; Uppsala University.
165. Hylander, L.D. and 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*.
166. Hylander, L.D., Silva, E.C., Oliveira, L.J., Silva, S.A., Kuntze, E.K. and Silva, D.X. (1994): Mercury levels in Alto Pantanal: A screening study. *Ambio* Vol. 23 No. 8, Dec. 1994, Royal Swedish Academy of Sciences.
167. Hylander, L.D., Sollenberg, H. and Westas, H. (2002): A three-stage system to remove mercury and dioxins in flue gases. In print, *Science of the Total Environment*.
168. IARC (International Agency for Research on Cancer). (1993): *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Vol 58. Beryllium, cadmium, mercury, and exposures in the glass manufacturing industry. Lyon, 1993.
169. IAS (1992): Report to Pacific Fishing Company, unpublished report.
170. ICES (1997): as cited in HELCOM (2001).
171. ICON (2000): "Monitoring of Mercury Contamination from Gold Mining in the Tapajos and Madeira river basins, Brazilian Amazonas", project financed by the European Commission and Government of Brazil with contributions from UK, Denmark, Germany, Brazil and Canada, contract B7-5041/1/93/15.

172. Ikarashi, M., Sasaki, K., Toyoda, M. and Saito, Y. (1996): Annual daily intakes of Hg, PCB, and arsenic from fish and shellfish and comparative survey of their residue levels in fish by body weight, *Esei Shikenjo Hokoku*, 114: 43-47.
173. Ilyin, I., Ryaboshapko, A., Afinogenova, O., Berg, T. and Hjellbrekke, A.G. (2001): Evaluation of transboundary transport of heavy metals in 1999. Trend analysis. *EMEP Report 3/2001*, Meteorological Synthesizing Centre - East, Moscow, Russia. As quoted by MSC-E of EMEP (comm-4-igo).
174. INERIS (2000): Compilation of toxicological and environmental data on chemicals – mercury and its derivatives. Submitted by France (sub49govatt18).
175. Iverfeldt, Å. (1991): Occurrence and turnover of atmospheric mercury over the Nordic countries. *Water, Air and Soil Pollution* 56, 251-265.
176. Iverfeldt, A., Munthe, J., Brosset, C. and Pacyna, J. (1995): Long-term changes in concentration and deposition of atmospheric mercury over Scandinavia. *Water, Air and Soil Pollution* 80: 227-233. As cited by von Rein and Hylander (2000).
177. Jackson, T.A. (1997): Long-range atmospheric transport of mercury to ecosystems, and the importance of anthropogenic emissions – a critical review and evaluation of the published evidence, *Environmental Review*, 5, 99-120.
178. Jalili, H.A. and Abbasi, A.H. (1961): Poisoning by ethyl mercury toluene sulphonamide. *British Journal of Industrial Medicine* 1961; 18:303-308.
179. Jarup, L. (ed), Berglund, M., Elinder, C-G., Nordberg, G. and Vahter, M. (1998): Health effects of cadmium exposure - a review of the literature and a risk estimate. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 1998; 24 (suppl 1): 1-52.
180. Jasinski, S.M. (1994): The materials flow of mercury in the United States. The United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Circular 9412. Available from <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/>.
181. JME (1997): *Our Intensive Efforts to Overcome the Tragic History of Minamata Disease*, Japanese Ministry of Environment, Japan, 1997.
182. Johansson (1985): Mercury in sediment in Swedish forest lakes, *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, Verhandlungen* 22: 2359-2363.
183. Johansson, K., Bergbäck, B. and Tyler, G. (2001): Impact of atmospheric long range transport of lead, mercury and cadmium on the Swedish forest environment. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 1: 279-297, 2001.
184. Johansson, K. (2001): Personal communication. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden.
185. Johnels, A., Tyler, G. and Westermark, T. (1979): A history of mercury levels in Swedish fauna. *Ambio* 8: 160-168.
186. Jonasson, I.R. and Boyle, R. W. (1971): Geochemistry of mercury. Spatial Symposium on Mercury in Man's Environment, Environment Canada, Ottawa, Canada, 5-21. As quoted by MSC-E of EMEP (comm-4-igo).
187. Kannan, K., Tanabe, S., Iwata, H. and Tatsukawa, R. (1995): Butyltins in muscle and liver of fish collected from certain Asian and Oceanic countries, *Environmental Pollution*, 83, 159-167.
188. Karpathios, T., Zervoudakis, A. and Thodoridis, C. (1991): Mercury vapor poisoning associated with hyperthyroidism in a child. *Acta Paediatrica Scandinavica* 1991; 80:551-552.
189. Kazantzis, G., Schiller, K.F., Asscher, A.W. and Drew, R.G. (1962): Albuminuria and the nephrotic syndrome following exposure to mercury and its compounds. *Quarterly Journal of Medicine* 1962; 3: 403-419.
190. KEMI - National Chemicals Inspectorate (1998): Kviksilveravveckling i Sverige - redovisning av ett regeringsuppdrag (Substitution of mercury in Sweden). *KEMI*, 5/98, The Chemicals Inspectorate, Solna, Sweden (in Swedish with English summary).
191. Khordagui, H. and Dhari, A. (1991): Mercury in Seafood: A Preliminary Risk Assessment for Kuwaiti Consumers, Pergamon Press, 1991.
192. Kibukamusoke, J.W., Davies, D.R. and Hutt, M.S.R. (1974): Membranous nephropathy due to skin-lightening cream. *British Medical Journal* 1974; 2: 646-647.
193. Kishi, R., Doi, R. and Fukuchi, Y. (1993): Subjective symptoms and neurobehavioral performances of ex-mercury miners at an average of 18 years after the cessation of chronic exposure to mercury vapor. *Environmental Research* 1993; 62: 289-302.
194. Kjellstrom, T., Kennedy, P., Wallis, S. and Mantell, C. (1986): Physical and mental development of children with prenatal exposure to mercury from fish. Stage 1: Preliminary tests at age 4. *Report 3080*, National Swedish Environmental Protection Board, 1986.
195. Kjellstrom, T., Kennedy, P., Wallis, S., Stewart, L., Friberg, L., Lind, B., Wutherspoon, T. and Mantell, C. (1989): Physical and mental development of children with prenatal exposure to mercury from fish. Stage 2: Interviews and psychological tests at age 6. *Report 3642*, National Swedish Environmental Protection Board.
196. Kling, L.J., Soares, J.H.jr. and Haltman, W.A. (1987): Effect of vitamin E and synthetic antioxidants on the survival rate of mercury-poisoned Japanese quail. *Poultry Science* 1987; 66: 324-33.
197. Koh, H.L. and Woo, S.O. (2000): Chinese proprietary medicine in Singapore: Regulatory Control of Toxic Heavy Metals and Undeclared Drugs. Drug Safety: *An International Journal of Medical Toxicology and Drug Experience*. 2000. Volume 23: (5): pages 351-62.
198. Kosta, L., Byrne, A.R. and Zelenko, V. (1975): Correlation between selenium and mercury in man following exposure to inorganic mercury, *Nature*, 254: 238-239.
199. Kumpulainen, J. and Tahvonen, R. (1989): Report on the activities of the sub-network on trace elements status in food. *FAO Report of the 1989 Consultation of the European Cooperative Research Network on trace elements*, Lausanne, September 1989.
200. Lacerda, L.D. (1997a): Global mercury emissions from gold and silver mining. *Water, Air and Soil Pollution* 97: pp 209-221, 1997, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
201. Lacerda, L.D. (1997b): Evolution of mercury contamination in Brazil. *Water, Air and Soil Pollution* 97: pp 247-255, 1997, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

202. LAI (1996): Emissionswerte für Quecksilber, Quecksilberverbindungen, Bericht des Unterausschusses "Wirkungsfragen", Berlin: Erich Schmidt Verlag 1996, ISBN 3-503-09364-3.
203. Lamborg, C. H., Fitzgerald, W. F., O'Donnell, J. and Torgersen, T. (2002): A non-steady-state compartmental model of global-scale mercury biogeochemistry with interhemispheric atmospheric gradients. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66 (7), 1105-1118.
204. Landis, M.S., Vette, A.F. and Keeler, G.J. (2002): Atmospheric Deposition to Lake Michigan During the Lake Michigan Mass Balance Study, submitted to *Environmental Science and Technology*.
205. Langworth, S., Almkvist, O., Soderman, E. and Wikström, B.O. (1992): Effects of occupational exposure to mercury vapor on the ventral nervous system. *British Journal of Industrial Medicine* 1992; 49:545-555.
206. Laperdina, T.G., Melnikova, M.V. and Kvostova, T.E. (1996): Mercury contamination of the environment due to gold mining in Zabaikalye. In: Baeyens, W., Ebinghaus, R. and Valiliev, O. (eds.): Global and regional mercury cycles: Sources, fluxes and mass balances. *NATO ASI Series, 2. Environment - Vol. 21*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
207. Lauwerys, R., Roels, H., Genet, P., Toussaint, G., Bouckaert, A. and De Cooman, S. (1985): Fertility of male workers exposed to mercury vapor or to manganese dust: A questionnaire study. *American Journal of Industrial Medicine* 1985; 7:171-176.
208. Lawrence, B. (2000): "The Mercury Marketplace: Sources, Demand, Price, and the Impacts of Environmental Regulation." Presentation at USEPA's *Workshop on Mercury in Products, Processes, Waste, and the Environment*. Baltimore, Maryland (USA), March 22-23, 2000, As quoted by USA (comm-24-gov).
209. Lawrence, B. (2002): "Global Markets for Mercury," presented at the US EPA-sponsored conference: *Breaking the Mercury Cycle: Long-Term Management of Surplus Mercury & Mercury-Bearing Waste*. Boston, Massachusetts, USA, May 1-3, 2002.
210. Lawrence, B.J. (1994): Mercury. *Engineering and Mining Journal*, March issue. As cited by Scoullos *et al* (2000).
211. Leady, B.S. and Gottgens, J.F. (2001): Mercury accumulation in sediment cores and along food chains in two regions of the Brazilian Pantanal, *Wetlands Ecology and Management* 9(4): 349-361.
212. Leah, R.T., Evans, S.J. and Johnson, M.S. (1992): Mercury in flounder (*Platichthys flesus* L.) from estuaries and coastal waters of the north-east Irish Sea. *Environmental Pollution* 75, 317-322.
213. Lebel, J., Mergler, D., Branches, F., Lucotte, M., Amorim, M., Larribe, F. and Dolbec, J. (1998): Neurotoxic effects of low-level methylmercury contamination in the Amazonian Basin. *Environmental Research* 1998; 79:20-32.
214. Letz, R., Gerr, F., Cragle, D., Green, C., Watkins, J. and Fidler, A.T. (2000): Residual Neurologic Deficits 30 Years after Occupational Exposure to Elemental Mercury, *Neurotoxicology* 2000; 21: 459-474.
215. Liang, Y.X., Sun, R.K., and Sun, Y. (1993): Psychological effects of low exposure to mercury vapor: Application of a computer-administered neurobehavioral evaluation system. *Environmental Research* 1993; 60:320-327.
216. Lilis, R., Miller, A. and Lerman, Y. (1985): Acute mercury poisoning with severe chronic pulmonary manifestations. *Chest* 1985; 88:306-309.
217. Lin, C-J. and Pehkonen, S. O. (1999): The chemistry of Atmospheric Mercury: a review. *Atmospheric Environment*, 33, 2067-2079.
218. Lindberg, S. E., Brooks, S., Lin, C. J., Scott, K. J., Landis, M. S., Stevens, R. K., Goodsite, M. and Richter, A. (2002b): Dynamic oxidation of gaseous mercury in the Arctic troposphere at polar sunrise. *Environmental Science & Technology* 36, 1245-1256.
219. Lindberg, S. E., Brooks, S., Lin, C-J., Scott, K., Meyers, T., Chambers, L., Landis, M. and Stevens R. K. (2002a): Formation of Reactive Gaseous Mercury in the Arctic: Evidence of Oxidation of Hg<sup>0</sup> to Hg<sup>II</sup> compounds after Arctic sunrise. *Water, Air and Soil Pollution*, in press.
220. Lindberg, S. E., Wallschläger, D., Prestbo, E. M., Bloom, N. S., Price, J. and Reinhart, D. (2001): Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA, *Atmospheric Environment* 35, 4011-4015.
221. Lindley (1997): An Economic and Environmental Analysis of the Chlor-Alkali Production Process: Mercury Cells and Alternative Technologies, prepared for European Commission - DG Enterprise, Brussels, 1997.
222. Lindquist, O., Jernelöv, A., Johansson, K. and Rohde, H. (1984): Mercury in the Swedish Environment. Global and local sources, report 1816, National Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, 121 pp. As cited by von Rein and Hylander (2000).
223. Lindquist, O., Johansson, K., Astrup, M., Andersson, A., Bringmark, L., Hovsenius, G., Hakanson, L., Iverfeldt, Å., Meili, M. and Timm, B. (1991): Mercury in the Swedish environment – Recent Research on Causes, Consequences and Corrective Methods. *Water, Air and Soil Pollution*. 55.
224. Louekari, K., Mukherjee, A.B. and Verta, M. (1994): Changes in human dietary intake of mercury in polluted areas in Finland between 1967 and 1990. In: Watras, C.J. and Huckabee, J.W.: *Mercury pollution, Integration and Synthesis*, pp. 705-711, CRC Press, Lewis Publishers, 1994.
225. Lu, J. Y., Schroeder, W. H., Barrie, L. A., Steffen, A., Welch, H. E., Martin, K., Lockhart, L., Hunt, R. V., Boila, G. and Richter, A., (2001): Magnification of atmospheric mercury deposition to polar regions in springtime: the link to tropospheric ozone depletion chemistry. *Geophysical Research Letters* 28, 3219-3222.
226. Maag, J., Lassen, C. and Hansen, E. (1996): Masseströmsanalyse for kviksølv (substance flow assessment for mercury). *Miljøprojekt* no. 344, 1996, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen (in Danish with summary in English).
227. Mabilile, V., Roels, H., Jacquet, P., Léonard, A. and Lauwerys, RR. (1984): Cytogenetic examination of leukocytes of workers exposed to mercury vapour. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 53:257-260.
228. MAFF (1994): 1991 Total Diet Study. *Food Surveillance Information Sheet* 34, July 1994.
229. Malm, O. *et al.* (1999): Biomonitoring Environmental Contamination with Metallic and Methylmercury in Amazon Gold Mining areas, Brazil. In: *Environmental Impacts of mining activities*. Berlin-Hiedelberg: Springer – Verlag, pp. 41-54, 1999. As quoted in the submission of the Ministry of Health of Brazil (sub66govatt2A).

230. Malm, O., as contained in NIMD Forum (2001): Mercury Environmental and Human Contamination in Brazilian Amazon: An Overview by O. Malm, as contained in NIMD Forum (2001): *Proceedings of NIMD Forum 2001 – Mercury Research – Today and Tomorrow*, Minamata City, Japan, 19-20 March 2001.
231. Marvin-Dipasquale, M., Agee, J., McGowan, C., Oremland, R., Thomas, M., Krabbenhoft, D. and Gilmour, C.C. (2000): Methylmercury Degradation Pathways: A Comparison among Three Mercury Impacted Ecosystems, *Environmental Science and Technology* 2000, 34, 4908-4916.
232. Mason, R.P. and Fitzgerald, W.F. (1996): Sources, sinks and biochemical cycling of mercury in the ocean. In: Baeyens, W., Ebinghaus, R. and Valiliev, O. (eds.): Global and regional mercury cycles: Sources, fluxes and mass balances. *NATO ASI Series*, 2. Environment - Vol. 21. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
233. Mason, R.P. and Fitzgerald, W.F. (1997): Biogeochemical cycling of mercury in the marine environment. In: Sigel, A. and Sigel, H.: *Metal ions in biological systems*. Marcel Dekker, Inc. 34, pp. 53-111.
234. Mason, R.P., Fitzgerald, W.F. and Morel, M.M. (1994): The biogeochemical cycling of elemental mercury: Anthropogenic influences. *Geochimica. et Cosmochimica. Acta*, 58(15): 31-3198. As quoted by US EPA, 1997.
235. Masters, H.B. (1997): Metals & minerals annual review - 1997. Mercury. *Mining Journal Ltd*.
236. Mathiesen, T., Ellingsen, D. and Kjuus, H. (1999): Neuropsychological effects associated with exposure to mercury vapor among former chloralkali workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 1999; 5: 342-250.
237. Maxson, P. (1999): Global Mercury Flows, Concorde East/West Sprl for the Institute for European Environmental Policy-Brussels, 1999.
238. Maxson, P. and Verberne, F. (2000): Mercury concerns in decommissioning chlor-alkali facilities in Western Europe, ERM and Concorde East/West Sprl for the Netherlands Ministry of Environment VROM, The Hague, September 2000.
239. Maxson, P.A. and 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, Brussels, Belgium, 48 p.
240. McNeil, S.I., Bhatnager, M.K. and Turner, C.J. (1988): Combined toxicity of ethanol and methylmercury in rats. *Toxicology* 1988; 53:345-363.
241. Menasveta, P. (1993): Fish survey and sampling in the Gulf of Thailand for total mercury determination. As quoted in the national submission from Thailand (sub53gov). (No further reference details given).
242. Mercury as a Global Pollutant (1999): 5. *International conference on mercury as a global pollutant ("ICMGP") - Book of abstracts*. CETEM, Brazil.
243. Merler, E., Boffetta, P., Masala, G., Monechi, V. and Bani, F. (1994): A cohort study of workers compensated for mercury intoxication following employment in the fur hat industry. *Journal of Occupational Medicine* 1994; 36:1260-1264.
244. Metallgesellschaft (1992): *Metallstatistik 1981-1991*. Frankfurt am Main, Germany. As cited by OECD (1994).
245. Minamata City (2000): *Minamata disease – Its history and lessons – 2000*. Minamata City Planning Division, December 2000.
246. MMSD (2002): *Breaking New Ground: Mining, Minerals, and Sustainable Development*. International Institute for Environment and Development, 2002. As available at <http://www.iied.org/mmsd/finalreport/index.html> per September 2002.
247. Monsalve, M.V. and Chiappe, C. (1987): Genetic effects of methylmercury in human chromosomes I. A cytogenetic study of people exposed through eating contaminated fish. *Environmental and Molecular Mutagenesis* 10: 367-376.
248. Monteiro, L.R. and Furness, R.W. (1997): Accelerated increase in mercury contamination in North Atlantic mesopelagic food chains as indicated by time series of seabird feathers. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16 (12): 2489-2496.
249. Monteiro, L.R., Granadeiro, J.P., Furness, R.W. and Oliviera, P. (1999): Contemporary patterns of mercury contamination in the Portuguese Atlantic inferred from mercury concentrations in seabird tissues. *Marine Environmental Research* 47, pp 137-156.
250. Moore, D. R. J., Sample, B. E., Suter, G. W., Parkhurst, B. R., and Teed, R. S. (1999): A probabilistic risk assessment of the effects of methylmercury and PCBs on mink and kingfishers along East Fork Poplar Creek, Oak Ridge, Tennessee, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18, 2941-2953.
251. Moreiras, O., Cuadrado, C., Kumpulainen, J.T., Carbajal, A. and Ruiz-Roso, B. (1996): Intake of contaminants, heavy metals and nutrients with potential toxicity via total diet in four geographical areas of Spain. FAO Regional office for Europe, *REU Technical series* 49. Trace elements, natural antioxidants and contaminants in European foods and diets. FAO, Rome, 1996: 59-92.
252. Morrison, R., Narayan, S. and Gangaiya, P. (2001): Trace element studies in Laucala bay, Suva, Fiji, *Marine Pollution Bulletin*, 42, 397-404.
253. Muir, D. *et al.* (1999): Spatial and temporal trends and effects of contaminants in the Canadian Arctic marine ecosystem: a review. *The Science of the Total Environment* 230: 83-144, 1999.
254. Muir, D. *et al.* (2001): Temporal trends of persistent organic pollutants and metals in ringed seals from the Canadian Arctic, In: *Synopsis of research conducted under the 2000/01 Northern Contaminants Program*. Ottawa: Indian and Northern Affairs Canada. to be released Sept. 2001.
255. Mukherjee A.B., Melanen, M., Ekquist, M. and Verta, M. (2000): Assessment of atmospheric mercury emissions in Finland. *The Science of the Total Environment* 259 (2000), pp. 73-83.
256. Munthe, J. and Kindbom, K. (1997): Mercury in products – a source of transboundary pollutant transport. *KEMI Report No. 10/97*, The Swedish National Chemicals Inspectorate.
257. Munthe, J., Hultberg, H., Lee, Y.-H., Parkman, H., Iverfeldt, Å. and Renberg, I. (1995): Trends of mercury and methylmercury in deposition, run-off water and sediments in relation to experimental manipulations and acidification. *Water, Air and Soil Pollution* 85(2), 743-748, 1995.



258. Munthe, J., Kindbom, K., Kruger, O., Petersen, G., Pacyna, J.M. and Iverfeldt, Å. (2001a): Emission, deposition, and atmospheric pathways of mercury in Sweden, accepted for *Water, Air and Soil Pollution*.
259. Munthe, J., Wängberg, I., Iverfeldt, Å., Petersen, G., Ebinghaus, R., Schmolke, S., Bahlmann, E., Lindquist, O., Strömberg, D., Sommar J., Gårdfeldt K., Feng X., Larjava K. and Siemens V. (2001): Mercury species over Europe (MOE). Relative importance of depositional methylmercury fluxes to various ecosystems. Final report for the European Commission, Directorate General XII. September 2001.
260. Munthe, J., Xiao, Z. F. and Lindqvist, O. (1991): The aqueous reduction of divalent mercury by sulfite. *Water, Air, and Soil Pollution* 56, 621 - 630, 1991.
261. Myers, G., Davidson, P., Palumbo, C., Shamlaye, C., Cox, C., Chernichiari, E. and Clarkson, T. (2000): Secondary analysis from the Seychelles child development study: the child behavior checklist. *Environmental Research*, Section A, 2000; 84: 12-19.
262. Nabrzyski, M. and Gajewska, R. (1984): determination of mercury, cadmium, and lead in food. *Rocz. PZH*, 35(1): 1-11 (in Polish).
263. Nagao, I., Matsumoto, K. and Tanaka, H. (1999): Sunrise ozone destruction found in the sub-tropical marine boundary layer. *Geophysical Research Letters*, 26, 3377-3380.
264. Naidu, S.D. and Morrison, R.J. (1994): Contamination of Suva harbour, Fiji. *Marine Pollution Bulletin*, 29, 126-130.
265. Naidu, S.D., Aalbersberg, W.G.L., Brodie, J.E., Fuavao, V., Maata, M., Naqasima, M.R., Whippy, P. and Morrison, R.J. (1991): Water quality studies on selected South Pacific Lagoons, *UNEP Regional Seas Reports and Studies* No. 136, Nairobi, 99 pp.
266. Nakagawa, R., Yumita, Y. and Hiromoto, M. (1997): Total mercury intake from fish and shellfish by Japanese people, *Chemosphere* 35: 2909-2913.
267. Nakamura (1994): *Japanese Journal of Waste* Vol. 5, No. 1, pp. 60-68, 1994, cited in Republic of Korea submission to UNEP Global Mercury Assessment (II), NIER/Ministry of Environment, 15 March 2002.
268. Naturvårdsverket (1991): Mercury in the environment. Problems and remedial measures in Sweden. Naturvårdsverket, Solna, Sweden 36 pp. As cited by von Rein and Hylander (2000).
269. NEG/ECP (2000): Technology Options and Recommendations for Reducing Mercury and Acid Rain Precursor Emissions from Boilers, Joint Boiler Work Group of the Acid Rain Steering Committee and Mercury Task Force, Conference of New England Governors and Eastern Canadian Premiers – Committee on the Environment, July 2000.
270. NEMA - National Electrical Manufacturers Association (1996): The Declining Presence of Mercury in Batteries and Municipal Solid Waste. May 1996. As cited in (US EPA, 1997).
271. Netterstrøm, B., Guldager, B. and Heebøl, J. (1996): Acute mercury intoxication examined with coordination ability and tremor. *Neurotoxicology and Teratology* 1996; 18: 505-509.
272. NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences), Committee on Environmental and Natural Resources (CENR), Office of Science and Technology Policy (OSTP), The White House (1998): Report of the workshop on "Scientific issues relevant to assessment of health effects from exposure to methylmercury". Held November 18-20, 1998, North Carolina. Seen on [http://ntp-server.niehs.gov/main\\_pages/PUBS/MethMercWkshpRpt.html](http://ntp-server.niehs.gov/main_pages/PUBS/MethMercWkshpRpt.html), March, 2001.
273. Nocera, J.J. and Taylor, P.D. (1998): In situ behavioral response of common loons associated with elevated mercury (Hg) exposure. *Conservation Biology* 2, 10-26. 1998.
274. Norwegian Pollution Control Authority (2001): Personal communication and received material. Oslo, August 2001. As cited in the submission of the Nordic Council of Ministers.
275. NRC (2000): Toxicological effects of methylmercury, Committee on the toxicological effects of methylmercury, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission of Life Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington DC.
276. Nriagu, J. O. (1989): A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature* 338, 47-49.
277. Nriagu, J. O. and Pacyna, J. M. (1988): Quantitative assessment of worldwide contamination of air water and soils by trace metals. *Nature* 333, 134-139.
278. Nriagu, J.O. (1979): The biogeochemistry of mercury in the environment, Elsevier.
279. O'Brien (1983): Considerations in Conversion of Existing Chlor-alkali Plants to Membrane Cell Operation. (In *Modern Chlor-alkali Technology*, Volume 2; C. Jackson (ed.). Ellis Horwood Limited, Chichester, London, 1983.
280. Oddvar, L. and Thorsnes, T. (Ed.) (1997): Skagerrak in the past and at the present - An integrated study of geology, chemistry, hydrography and microfossil ecology. *Special publication* 8, 1997. Geological Survey of Norway (NGU), Trondheim.
281. OECD (1985): Measures to reduce all man-made emissions of mercury to the environment. 1982 information exchange on mercury - Summary report. Paris. As cited in OECD (1994).
282. OECD (1994): Mercury - Background and national experience with reducing risk. *Risk reduction monograph* no. 4. OECD, Paris, 1994 (web-version from <http://www.oecd.org/ehs/risk.htm> is dated 1995).
283. OSPAR (2000): Quality status report 2000, Region II – Greater North Sea. OSPAR Commission, London.
284. OSPAR (2000b): Quality Status Report 2000 (all regions). OSPAR Commission, London.
285. OSPAR (2000c): OSPAR background document on mercury and organic mercury compounds. OSPAR Commission, London. Available from [www.ospar.org](http://www.ospar.org).
286. OSPAR (2001): International co-operation on mercury and its compounds – Correspondence between the chairman of OSPAR and the European Commission (/Directorate-General for the Enterprise and Information Technology). *OSPAR document* HSC 01/5/Info.1-E (L). April 2001.
287. OSPAR (2001b): Mercury Losses in the Chloralkali Industry – 1999.
288. Pacyna, E., Pacyna, J.M. and Pirrone, N. (2000): Atmospheric Mercury Emissions in Europe from Anthropogenic Sources. *Atmospheric Environment* 35, 2987-2996.

289. Pacyna, J. M. (1998): Environmental and health impacts of selected hazardous air pollutants from utility boilers. Keynote paper. *Hazardous Air Pollutants Workshop*. The USA Clean Air Task Force, Washington, DC, 23 March 1998.
290. Pacyna, J. M. and Pacyna, P.E. (1996): Global emissions of mercury to the atmosphere. Emission from anthropogenic sources. A report for the arctic monitoring and assessment programme (AMAP), Oslo, June 1996.
291. Pacyna, J.M. and 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, Norway.
292. Pai, P., Karamchandani, P. and Seigneur, C. (1997): Simulation of the regional atmospheric transport and fate of mercury using a comprehensive Eulerian model. *Atmos. Environ.* 31, 2717-2732. As quoted by MSC-E of EMEP (comm-4-igo).
293. Palmborg, C., Bringmark, L. and Bringmark, E. (2001): Microbiological activity in relation to small-scale patterns of heavy metals and substrate quality in spruce mor layers (Of) in southern Sweden. *Water, Air and Soil Pollution* (in print).
294. Palumbo, D., Cox, C., Davidson, P., Myers, G., Choi, C., Shamlaye, C., Sloane-Reeves, J., Chernichiari, E. and Clarkson, T. (2000): Association between prebatal exposure to methylmercury and cognitive function in Seychelloise children: a reanalysis of the McCarthy scales of children's ability from the main cohort study. *Environmental Research*, Section A, 2000; 84:81-88.
295. Parsons, E.C.M. (1998): Tracemetal pollution in Hong Kong: Implications for the health of Hong Kong's Indo-Pacific hump-backed dolphins (*Sousa chinensis*). *Science of the Total Environment* 214, pp 175-184.
296. Pelclova, D., Lukas, E., Urban, P., Preiss, J., Rysava, R., Lebenhart, P., Okrouhlik, B., Fenclova, Z., Lebedova, J., Stejskalova, A. and Ridzon, P. (2002): Mercury intoxication from skin ointment containing mercuric ammonium chloride. *International Archives of Occupational Environmental Health* 2002, Jul; 75 Suppl 1:54-9.
297. Petersen, G., Bloxam, R., Wong, S., Munthe, J., Krüger, O., Schmolke, S. and Kumar, A. V. (2001): A comprehensive Eulerian modelling framework for airborne mercury species: model development and applications in Europe. *Atmospheric Environment* 35, 3063-3074. As quoted by MSC-E of EMEP (comm-4-igo).
298. Petersen, G., Munthe, J., Pleijel, K., Bloxham, R. and Vinod Kumar, A. (1998): A Comprehensive Eulerian modeling framework for airborne mercury species: Development and testing of the tropospheric Chemistry Module (TCM). *Atmospheric Environment*, 32, 829-843.
299. Petridou, E., Moussouri, M., Toupadaki, N., Youroukos, S., Papavassiliou, A., Pantelakis, S., Olsen, J. and Richopoulos, D. (1998): Diet during pregnancy and the risk of cerebral palsy. *British Journal of Nutrition* 1998; 79:407-412.
300. Piikivi, L. (1989): Cardiovascular reflexes and low long-term exposure to mercury vapour. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 1989; 61:391-395.
301. Pilgrim, W. (1998): Chapter VIII, Mercury in the Eastern Canadian Provinces - USA Northeast States and Eastern Canadian Provinces Mercury Study Report. Northeast States for Coordinated Air Use Management, Northeast Waste Management Officials' Association, New England Interstate Water Pollution Control Commission and Ecological Monitoring and Assessment Network of Canada. 1998.
302. Pirrone, N. (2001): Mercury Research in Europe: Towards the preparation of the New EU Air Quality Directive. *Atmospheric Environment* 35, 2979-2986.
303. Pirrone, N., Costa, P., Pacyna, J.M. and Ferrara, R. (2001b): Atmospheric Mercury Emissions from Anthropogenic and Natural Sources in the Mediterranean Region. *Atmospheric Environment* 35, 2997-3006.
304. Pirrone, N., Hedgecock, I. M. and Forlano, L. (2000): The role of the ambient aerosol in the atmospheric processing of semi-volatile contaminants: A parameterised numerical model (GASPAR). *Journal of Geophysical Research* 105 D8, 9773-9790.
305. Pirrone, N., Keeler, G.J. and Nriagu, J.O. (1996): Regional differences in worldwide emissions of mercury to the atmosphere. *Atmospheric Environment* Vol. 30, No. 37, pp. 2981-2987, 1996.
306. 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. and Wichmann-Fiebig, M. (2001): EU Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) - Position Paper. Office for Official Publications of the European Communities, 2001. Submitted by Italy (available on <http://europa.eu.int/comm/environment/air/background.htm#mercury>).
307. Pirrone, N., Pacyna, J. and Munthe, J. (2002): Comments on "The European Air Quality Framework Directive and Atmospheric Mercury: the Wrong Tool for the Job" – New Directions Article. *Atmospheric Environment* 36 (13), 2275-2276.
308. Pirrone, N., Pacyna, J.M. and Barth, H. (Guest Editors) (2001a): Atmospheric Mercury Research in Europe, *Special Issue of Atmospheric Environment* Vol. 35 / 17 Elsevier Science (Publisher), Amsterdam, Netherlands.
309. Pleijel, K. and Munthe J., (1995): Modelling the atmospheric mercury cycle - Chemistry in fog droplets. *Atmospheric Environment* 29, 1441-1457.
310. Popescu, H.I., Negru L. and Lancranjan, I. (1979): Chromosome aberrations induced by occupational exposure to mercury. *Archives of Environmental Health* 1979; 34:461-463.
311. Prestbo, E.M. and Bloom, N.S. (1995): Mercury speciation adsorption (Mesa) method for combustion flue gas: methodology, artifacts, intercomparison, and atmospheric implications, *Water, Air and Soil Pollution* 80, 145-158.
312. Qi, X., Lin, Y., Chen, J. and Ye, Y. (2000): An evaluation of mercury emissions from the chlor-alkali industry in China. *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 12, supplement, pp. 24-30, 2000.
313. Ramamurthy (1979): Baseline study of the level of concentration of mercury in the food fishes of Bay of Bengal, Arabian Sea and Indian Ocean. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* (Nihon-Suisan-Gakkai-shi), 45 (11) 1405-1407, 1979.
314. Ramel, C. (1974): The mercury problem – A trigger for environmental pollution control. *Mutation Research* 26, 341-348.
315. Rasmussen, B. (1992): Substitution af kviksølv i produkter (substitution of mercury in products). *Miljøprojekt* nr. 196, 1992, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen (in Danish).

316. Rauhaut, A. (1996): Eintrag von Blei, Cadmium und Quicksilber in die Umwelt. Bilanzen über Verbrauch und Verblieb - Band 2: Quicksilber. Landesgewerbeamt Bayern, Bereich Technische Information. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Germany, 1996 (in German, balances for consumption and accumulation mercury in Germany).
317. Rea, A.W., Lindberg, S.E. and Keeler, G.J. (2000): Assessment of dry deposition and foliar leaching of mercury and selected trace elements based on washed foliar and surrogate surfaces. *Environmental Science and Technology* 34: 2418-2425.
318. Rea, A.W., Lindberg, S.E. and Keeler, G.J. (2001): Dry deposition and foliar leaching of mercury and selected trace elements in deciduous forest throughfall. *Atmospheric Environment* 35: 3453-3462.
319. Reese (1997): USA Geological Survey Minerals Yearbook – 1997: Mercury. USGS at [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov).
320. Reese (1999): USA Geological Survey Minerals Yearbook – 1999: Mercury. USGS at [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov).
321. Renzoni, A., Zino, F. and Franchi, E. (1998): Mercury levels along the food chain and risk for exposed populations. *Environmental Research* 77: 68-72.
322. Rissanen, T., Voutilainen, S., Nyssönen, K., Lakka, T.A. and Salonen, J.T. (2000): Fish-oil-derived fatty acids, docosahexaenoic acid, and the risk of acute coronary events. *Circulation* 2000; 102: 2677-2679.
323. Roels, H., Abdeladim, S., Braun, M., Malchaire, J. and Lauwerys, R. (1989): Detection of hand tremor in workers exposed to mercury vapor: a comparative study of three methods. *Environmental Research* 1989; 49: 152-65.
324. Roels, H.A., Lauwerys, R. and Buchet, J.P. (1982): Comparison of renal function and psychomotor performance in workers exposed. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 1982; 50: 77-93.
325. Rowland, A.S., Baird, D.D., Weinberg, C.R., Shore, D.L., Shy, C.M. and Wilcox, A.J. (1994): The effect of occupational exposure of mercury vapour on the fertility of female dental assistants. *Occupational and Environmental Medicine* 1994; 51: 28-34.
326. Rowland, I.R., Mallett, A.K., Flynn, J. and Hargreaves, R.J. (1986): The effect of various dietary fibres on tissue concentration and chemical form of mercury after methylmercury exposure in mice. *Archives of Toxicology* 1986; 59: 94-98.
327. Rumbelha, W.K., Gentry, P.A. and Bhatnagar, M.K. (1992): The effects of administering methylmercury in combination with ethanol in the rat. *Veterinary and Human Toxicology* 1992; 34: 21-25.
328. Rumbold, D. (2000): Methylmercury Risk to Everglades Wading Birds: A Probabilistic Ecological Risk Assessment. Appendix 7-3b. pp. 1-30; in: Everglades Consolidated Report. 2000. South Florida Water Management District, West Palm Beach, Florida.
329. Rundgren, S., Rühling, Å., Schlüter, K. and Tyler, G. (1992): Mercury in soil; distribution, speciation and biological effects. *Nord* 1992:3. pp 89.
330. Ruprich, J. (1995): Health risk assessment of dietary exposure to the selected chemical substances in the Czech Republic: Alimentary diseases (1993) and total diet study (1994), pp. 274.
331. Ryaboshapko, A., Bullock, R., Ebinghaus, R., Ilyin, I., Lohman, K., Munthe, J., Petersen, G., Seigneur, C. and Wängberg, I. (2002): Comparison of mercury chemistry models. *Atmospheric Environment* 36: 3881-3898.
332. Ryaboshapko, A., Ilyin, I., Bullock, R., Ebinghaus, R., Lohman, K., Munthe, J., Petersen, G., Seigneur, C. and Wangberg, I. (2001): Intercomparison study of numerical models for long-range atmospheric transport of mercury. Stage I: Comparison of chemical modules for mercury transformations in a cloud/fog environment. *EMEP/MSC-E Technical report 2/2001*, Meteorological Synthesizing Centre – East, Moscow, Russia. Available at <http://www.msceast.org/publications.html>. As quoted by MSC-E in comm-4-igo.
333. Salonen, J.T., Seppanen, K., Nyssönen, K., Korpela, H., Kauhanen, J., Kantola, M., Tuomilehto, J., Esterbauer, H., Tatzber, F. and Salonen, R. (1995): Intake of mercury from fish, lipid peroxidation, and the risk of myocardial infarction and coronary, cardiovascular, and any death in eastern Finnish men. *Circulation* 1995; 91:645-55.
334. Scheuhammer *et al.* (1998): quoted in Pirrone *et al.*, 2001.
335. Scheuhammer, A.M. (1995): Methyl mercury exposure and effects in piscivorous birds. Proceedings of the 1995 Canadian Mercury Workshop. Ecological Monitoring Coordinating Office, Canadian Wildlife Service, Environment Canada. 1995.
336. Scheuhammer, A.M. and Blancher, P.J. (1994): Potential risk to common loons (*Gavia immer*) from methylmercury exposure in acidified lakes. *Hydrobiologia* 279/280: 445-455. 1994.
337. Schober, S.E., Sinks, T., Jones, R., Bolger, M., McDowell, M., Osterloh, J., Garrett, S., Canady, R., Dillon, C., Joseph, C. and Mahaffey, K. (2003): Methylmercury Exposure in US Children and Women of Childbearing Age, 1999-2000. Submitted for publication to the *Journal of the American Medical Association* in year 2002.
338. Schroeder, W. H. and Munthe, J. (1998): Atmospheric Mercury - An Overview. *Atmospheric Environment* 32, 809-822.
339. Schroeder, W. H., Anlauf, K. G., Barrie, L.A., Lu, J.Y. and Steffen, A. (1998): Arctic springtime depletion of mercury. *Nature* 394, 331-332.
340. Schuster, P.F., Krabbenhoft, D.P., Naftz, D.L., Cecil, L.D., Olson, M.L., Dewild, J.F., Susong, D.D., Green, J.R. and Abbott, M.L. (2002): *Environmental Science and Technology* 36 (11), 2303-2310, 2002.
341. Schwartz, J.G., Snider, T.E. and Montiel, M.M. (1992): Toxicity of a family from vacuumed mercury. *American Journal of Emergency Medicine* 1992; 10:258-261.
342. Scoullios, 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. and Zeri, C. (2000): EUPHEMET - Towards an integrated EU policy for heavy metals. For the European Commission DG12 - Research Directorate-General, Brussels.
343. Seigneur, C., Karamchandani, P., Lohman, K., Vijayaraghavan, K. and Shia, R-L. (2001): Multiscale modeling of the atmospheric fate and transport of mercury. *Journal of Geophysical Research* 106 (D21), 27795-27809. As quoted by MSC-E of EMEP (comm-4-igo).
344. Sexton, D., Powell, K. and Liddle, J. (1978): A non-occupational outbreak of inorganic mercury vapor poisoning. *Archives of Environmental Health* 1978; vol?: 186-191.

345. Shamlaye, CF., Marsh, DO., Myers, GJ., Cox, C., Davidson, P., Choisy, O., Cernichiari, E., Choi, A., Tanner, MA. and Clarkson, TW. (1995): The Seychelles Child development study on neurodevelopmental outcomes in children following in utero exposure to methylmercury from a maternal fish diet: Background and demographics. *Neurotoxicology* 1995; 16: 597-612.
346. Shia, R.L., Seigneur, C., Pai, P., Ko, M. and Sze, N.D. (1999): Global simulation of atmospheric mercury concentrations and deposition fluxes. *Journal of Geophysical Research* Vol. 104, No. D19, pp. 23,747-23,760, October 1999.
347. Sibley, R.L. (1990): The relationship between mercury from dental amalgam and the cardiovascular system. *Science of the Total Environment* 99 (1-2): 23-36.
348. Sikorski, R., Juszkiewicz, T. and Paszkowski, T. (1987): Women in dental surgeries: Reproductive hazards in occupational exposure to metallic mercury. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 1987; 59:551-557.
349. Skare, I. and Engqvist, A. (1994): Human exposure to mercury and silver released from dental amalgam restorations. *Archives of Environmental Health*, 49(5): 384-394.
350. Skerfving, S. (1974): Methylmercury exposure, mercury levels in blood and hair, and health status in Swedes consuming contaminated fish. *Toxicology* 1974;2:3-23.
351. Skov, H. (2002): Personal communication, NERI, Denmark, 2002.
352. Smith, R.G., Vorwald, A.J. and Patel, L.S. (1970): Effects of exposure to mercury in the manufacture of chlorine. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1970; 31:687-700.
353. Snodgrass, W., Sullivan, J.B. and Rumack, B.H. (1981): Mercury poisoning from home gold ore processing: Use of penicillamine and dimercaprol. *Journal of the American Medical Association* 1981; 246:1929-1931.
354. Sommar, J., Feng, X. and Lindqvist, O. (1999): Speciation of volatile mercury species present in digester and deposit gases. *Applied Organometallic Chemistry* 13, 441-447.
355. Sommar, J., Gärdfeldt, K., Strömberg, D. and Feng, X. (2001): A kinetic study of the gas phase reaction between the hydroxyl radical and atmospheric mercury. *Atmospheric Environment* 35, 3049-3054.
356. Soni, J.P., Singhanian, R.U., Bansal, A. and Rathi, G. (1992): Acute mercury vapor poisoning. *Indian Pediatrics* 1992; 29:365-368.
357. Sørensen, N., Murata, K., Budtz-Jørgensen, E., Weihe, P. and Grandjean, P. (1999): Prenatal methylmercury exposure as a cardiovascular risk factor at seven years of age. *Epidemiology* 1999; 10: 370-375.
358. Spalding, M.G., Bjork, R.D., Powell, G.V.N. and Sundlof, S.F. (1994): Mercury and cause of death in great white herons. *Journal of Wildlife Management* 58:735-739.
359. Spalding, M.G., Frederick, P.C., McGill, H.C., Bouton, S.N., Richey, L.J., Schumacher, I. M., Blackmore, C.G.M. and Harrison, J. (2000): Histologic, neurologic, and immunologic effects of methylmercury in captive great egrets. *Journal of Wildlife Diseases* 36, 423-435.
360. Sprovieri, F., Pirrone, N., Gärdfeldt, K. and Sommar, J. (2002): Mercury speciation in the Marine Boundary Layer along a 6000km cruise path around the Mediterranean Sea. *Atmospheric Environment*, in press.
361. Stone, K. (2002): Use and Release of Mercury in the United States. Draft Report by the United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio: July 2002.
362. Submission from the Nordic Council of Ministers: Maag, J., Hansen, E. and Dall, O.: Mercury – A Global Pollutant Requiring Global Initiatives, COWI AS for the Nordic Council of Ministers, December 2001. *TemaNord* 2002:516.
363. Suzuki, T. (1991): Advances in mercury toxicology. Plenum Press, New York, 1991, pp. 459-483. As quoted by Feng *et al.* (1998).
364. Sweet, L.I. and Zelikoff, J.T. (2000): Toxicology and immunotoxicology of mercury: A comparative review in fish and humans, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 4:161-205.
365. Sznopce, J.L. and 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, downloaded from <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/circulars/c1197/> in January 2001. Available from <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mercury/>.
366. Szprengier-Juszkiewicz, T. (1988): Evaluation of daily intake of mercury with foodstuff in Poland. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna* 21: 228-232 (in Polish).
367. Takeuchi, T. and Eto, K. (1999): The Pathology of Minamata Disease. A Tragic Story of Water Pollution. Fukuoka: Kyushu University Press, 1999.
368. Tamashiro, H., Arakaki, M., Futatsuka, M. and Lee, E.S. (1986): Methylmercury exposure and mortality in southern Japan: A close look at causes of death. *Journal of Epidemiology and Community Health* 1986;40:181-185.
369. Taueg, C., Sanfilippo, D.J. and Rowens, B. (1992): Acute and chronic poisoning from residential exposures to elemental mercury. *Journal of Toxicology-Clinical Toxicology* 1992; 30:63-67.
370. Thibaud, Y. (1992): Utilisation du modèle de Thomann pour l'interprétation des concentrations en mercure des poissons de l'Atlantique. *Aquatic Living Resources* 1992, 5, 57-80.
371. Travnikov, O. and Ryaboshapko, A. (2002): Modelling of mercury hemispheric transport and depositions. *EMEP/MS-C-E Technical Report* 6/2002, Meteorological Synthesizing Centre - East, Moscow, Russia. As quoted by MSC-E of EMEP (comm-4-igo).
372. Tsubaki, T. and Takahashi, H. (1986): Recent Advances in Minamata Disease Studies. Methylmercury Poisoning in Minamata and Niigata, Japan. Tokyo: Kodansha Ltd., 1986.
373. Tsuda, T., Inoue, T., Kojima, M. and Aoki, S. (1995): Market basket and duplicate portion estimation of dietary intakes of cadmium, mercury, arsenic, copper, manganese, and zinc by Japanese adults, *Journal of AOAC International* 78: 1363-1368.
374. Tubbs, RR., Gephardt, GN., McMahan, JT., Pohl, MC., Vidt, DG., Barenberg, SA. and Valenzuela, R. (1982): Membranous glomerulonephritis associated with industrial mercury exposure. *American Journal of Clinical Pathology* 1982; 77:409-413.

375. Turner, C.J., Bhatnagar, M.K. and Yamashiro, S. (1981): Ethanol potentiation of methylmercury toxicity: A preliminary report. *J Toxicol Environmental Health* 1981; 7:665-668.
376. Tyler, G. (1992): Critical concentrations of heavy metals in the mor horizon of Swedish forests. Swedish Environmental Protection Agency. Report 4078.
377. Uchino, M., Okajima, T., Rto, K., Kumamoto, T., Mishima, I. and Ando, M.. (1995): Neurologic features of chronic Minamata disease (organic mercury poisoning) certified at autopsy. *Internal Medicine Journal* 1995;34:744-7.
378. Ullrich, S. M., Tanton, T.W. and Abdrashitova, S. A. (2001): Mercury in the Aquatic Environment: A Review of Factors affecting Methylation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 31, No. 3, 241-293.
379. UNEP (2001): International Activities Related to Chemicals, UNEP, Geneva, Switzerland - <http://www.chem.unep.ch/irptc/Publications/CapBult/ChemRel.pdf>.
380. UNEP (2002): Report of the Global Mercury Assessment Working Group on the Work of its First Meeting, Geneva, Switzerland, 9-13 September 2002.
381. UNIDO (1997): Introducing new technologies for abatement of global mercury pollution, Phase II: Latin America, UNIDO, April 1997.
382. UNIDO (2000): Assistance in Assessing and Reducing Mercury Pollution Emanating from Artisanal Gold Mining in Ghana, UNIDO Project Document (1999-2000).
383. Urieta, I., Jalon, M. and Equilero, I. (1996): Food surveillance in Basque country (Spain). *Food Additives and Contaminants* 13: 289-52.
384. US EPA - GLNPO (1999): Draft report Mercury Sources and Regulations, 1999 Update, Draft of 1 November 1999, US EPA - Great Lakes National Program Office – found at <http://www.epa.gov/bns/mercury/stephg.html>.
385. US EPA (1973): Control Techniques for Mercury Emissions from Extraction and Chlor-alkali Plants. Research Triangle Park, North Carolina.
386. US EPA (1992): Characterization of Products Containing Mercury in Municipal Solid Waste in the United States, 1970 to 2000. Office of Solid Waste.
387. US EPA (1993): Locating and estimating air emissions from sources of mercury and mercury compounds. September 1993. As cited by Scoullos *et al.*, 2000.
388. US EPA (1997): Mercury study report to congress. US EPA, Dec. 1997. Downloaded from <http://www.epa.gov/airprogrom/oar/mercury.html>, January 2001.
389. US EPA (1998): Study of Hazardous Air Pollutant Emissions from Electric Utility Steam Generating Units--Final Report to Congress, Volume 1-2, EPA-453/R-98-004a and b. Office of Air Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. February 1998.
390. US EPA (2001a): Mercury update: Impact on fish advisories. *EPA Fact sheet*, June 2001. Found on <http://www.epa.gov/ost/fish>, June 2001.
391. US EPA (2001b): Water quality criterion for the protection of human health: Methylmercury. Washington, 2001. Available at [www.epa.gov/waterscience/criteria/methylmercury/factsheet.html](http://www.epa.gov/waterscience/criteria/methylmercury/factsheet.html).
392. US EPA (2002): 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, April 2002. Available at <http://www.epa.gov/appcdwww/aptb/EPA-600-R-01-109corrected.pdf>.
393. USA ATSDR (1999): Toxicological profile for mercury. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, USA.
394. USA Public Health Service. (1993): Dental amalgam: A scientific review and recommended Public Health Service strategy for research, education and regulation. Department of Health and Human Services, USA, 1993.
395. Van Dokkum, W., de Vos, R.H., Muys, T.H. and Westra, J.A. (1989): Minerals and trace elements in total diets in the Netherlands, *British Journal of Nutrition* 61, 7-15.
396. Vasconcellos, M.B.A., Paletti, G., Catharino, M.G.M., Saiki, M., Fávoro, D.I.T., Baruzzi, R.G., Rodrigues, D.A., Byrne, A.R. and Forti, M.C. (1998?): Studies on mercury exposure of some brazilian populational groups living in the amazonic region by means of hair analysis. Paper submitted by Brazil (sub68govatt1). (Publication status and year not mentioned – from the text the year of creation appears to be 1998 or later).
397. Veiga, M. and Hinton, J. (2002): Abandoned artisanal gold mines in the Brazilian Amazon.”UN Natural Resources Forum. February 2002.
398. Verschaeve, L., Kirsch-Volders, M., Susanne, C., Groetenbriel, C., Haustermans, R., Lecomte, A. and Roossels, D. (1976): Genetic damage induced by occupationally low mercury exposure. *Environmental Research* 12:306-316.
399. Verschaeve, L., Tassignon, J-P., Lefevre, M., De Stoop, P. and Susanne, C. (1979): Cytogenic investigation on leukocytes of workers exposed to metallic mercury. *Environmental Mutagenesis* 1:259-268.
400. Verta, M. (1990): Mercury in Finnish forest lakes and resevoirs: Anthropogenic contribution to the load and accumulation in fish. Doctoral dissertation, Univ. of Helsinki. *Publication of the Water and Environmental Research Inst.*, Nat. Board of Waters and the Environ. Finland. 6, 1990.
401. Vette, A.F., Landis, M.S. and Keeler, G.J. (2002): Deposition and Emission of Gaseous Mercury to and from Lake Michigan During the Lake Michigan Mass Balance Study (July, 1994 - October, 1995), submitted to *Environmental Science and Technology*.
402. von Rein, K. and Hylander, L. D. (2000): Experiences from phasing out the use of mercury in Sweden. *Regional Environmental Change* 1: 126-134.
403. Vroom, F.Q. and Greer, M. (1972): Mercury vapor intoxication. *Brain* 1972; 95:305-318.
404. Wagemann, R. *et al.* (1996): Overview and regional and temporal differences of heavy metals in Arctic whales and ringed seals in the Canadian Arctic. *Science of the Total Environment* 186:41-67. 1996.

405. Wang, Q., Hu, X. and Ma, R. (2000): Mercury in coal and its emission by coal combustion in the Northeast China, Changchun Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, in *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 12, Supplement, pp.22-23, 2000.
406. Wangberg, I., Munthe, J., Pirrone, N., Iverfeldt, Å., Bahlman, E., Costa, P., Ebinghaus, R., Feng, X., Ferrara, R., Gårdfeldt, K., Kock, H., Lanzillotta, E., Mamane, Y., Mas, F., Melamed, E., Osnat, Y., Prestbo, E., Sommar, J., Spain, G., Sprovieri, F. and Tuncel, G. (2001): Atmospheric Mercury Distribution In Northern Europe and in the Mediterranean Region. *Atmospheric Environment* 35, 3019-3025.
407. Wastensson, G., personal communication, (2001).
408. Weihe, P., Hansen, J.C., Murata, K., Debes, F., Jørgensen, P.J., Steuerwald, U., White, R.F. And Grandjean, P. (2002): Neurobehavioral Performance of Inuit Children with Increased Prenatal Exposure to Methylmercury. *International Journal of Circumpolar Health* 2002; 61: 41-9.
409. WHO (1993): WHO Guidelines for Drinking Water Quality - [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/GDWQ/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/index.html).
410. WHO (1999): WHO Guidelines for Air Quality - <http://www.who.int/peh/air/Airqualitygd.htm>.
411. WHO (2000): Technical Report series 896, Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants (53rd Report), 2000 - <http://www.who.int/dsa/cat98/food8.htm#53rd Report>.
412. WHO (2001): Thiomersal in Vaccines – Questions and answers, Department of Vaccines and Biologicals, WHO (last updated 2 October 2001) - <http://www.who.int/vaccines-surveillance/ISPP/hotQAthiomersal.shtml>.
413. WHO/IPCS (1976): Mercury. *Environmental Health Criteria* No 1, World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS), Geneva, Switzerland, 1976.
414. WHO/IPCS (1989): Mercury – Environmental aspects. *Environmental Health Criteria* No 86, World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS), Geneva, Switzerland, 1989.
415. WHO/IPCS (1990): Methylmercury. *Environmental Health Criteria* No 101, World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS), Geneva, Switzerland, 1990.
416. WHO/IPCS (1991): Inorganic mercury. *Environmental Health Criteria* No 118, World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS), Geneva, Switzerland, 1991.
417. WHO/IPCS (2002): Elemental mercury and inorganic mercury compounds. *Concise International Chemical Assessment Document* No 50, World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS), Geneva, Switzerland, in preparation.
418. WMO/EMEP/UNEP (2000): Workshop on Modelling of Atmospheric Transport and Deposition of Persistent Organic Pollutants and Heavy Metals (WMO/GAW N 136, V.I, EMEP/Meteorological Synthesizing Centre-East, 1/2000).
419. Wiener, J.G. and Spry, D.J. (1996): Toxicological significance of mercury in freshwater fish. In: Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations. Beyer, W.N., Heinz, G.H. and Redman-Norwood, A.W. (Eds.), *Special Publication of the Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA. pp. 297-339.
420. Windom, L. H. and Cranmer, G. (1998): Lack of Observed Impacts of Gas Production of Bangkok Field, Thailand on Marine Biota. *Marine Pollution Bulletin*, Vol.36, No.10, pp. 799-807.
421. Wobeser, G., Nielsen, N.D. and Schiefer, B. (1976): Mercury and mink II: Experimental methyl mercury intoxication. *Canadian Journal of Comparative Medicine* 40: 34-45.
422. Wolfe, M. F., Schwarzbach, S. and Sulaiman, R. A. (1998): Effects of mercury on wildlife: A comprehensive review. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17, 146-160.
423. Wossmann, W., Kohl, M., Gruning, G. and Bucsky, P. (1999): Mercury intoxication presenting with hypertension and tachycardia. *Archives of Disease in Childhood* 1999; 80: 556-7.
424. Wulf, H.C., Kromann, N., Kousgaard, N., Hansen, J.C., Niebuhr, E. and Alboge, K. (1986): Sister chromatid exchange (SCE) in Greenlandic Eskimos: Dose-response relationship between SCE and seal diet, smoking, and blood cadmium and mercury concentrations. *Science of the Total Environment* 1986; 48:81-94.
425. Yasuda, Y., Kindaichi, M. and Akagi, H. (?): Changes of mercury concentration in fishes and those prey in Minamata Bay, Natl. Inst. Minamata Disease, Japan: Gaia Minamata. Paper submitted by Japan (as part sub6gov). (Publication status/year not mentioned – year of creation appears to be 2000 or later).
426. Yoshida, Y., Kamitsuchibashi, H., Hamada, R., Kuwano, Y., Mishima, I. and Igata, A. (1992): Truncal hypesthesia in patients with Minamata disease. *Internal Medicine Journal* 1992; 31:204-7.
427. Zavaris, C. (1994): “Avaliação da utilização industrial de mercúrio metálico no Estado de São Paulo e aplicação de metodologia de intervenção nas condições de trabalho,” Master’s Degree dissertation in Public Health (Mestrado em Saúde Pública), College of Public Health of the University of São Paulo. (Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo) Dezembro 1994.

