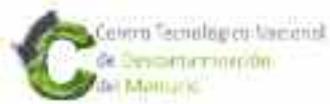




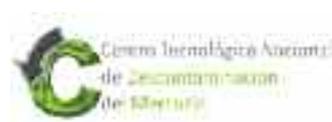
Buscando soluciones para la gestión medioambiental responsable del mercurio



CENTRO DE PUBLICACIONES
Pº Infanta Isabel, 1 • 28014 Madrid



Buscando soluciones para la gestión medioambiental responsable del mercurio



Madrid, 2012

Elaboración:

Gloria del Cerro Martín

Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial

Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural

José Ramón Barnuevo Villanueva

TRAGSATEC - Gerencia de Biodiversidad

M. Milagros Vega

ERA-Consult Evaluación del Riesgo Ambiental

Manuel Ramos Pino

CTNDM-MAYASA

Javier Carrasco Milara

CTNDM-MAYASA

Ana Conde Mansilla

CTNDM-MAYASA

Dirección:

Óscar González Sánchez

Ana García González

Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial

Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural

**MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE****Edita**

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Distribución y venta:

Pº de la Infanta Isabel, 1

28014 Madrid

Teléfono: 91 347 55 41

Fax: 91 347 57 22

Maquetación, impresión y encuadernación:

V.A. Impresores, S.A.

Tienda virtual: www.magrama.es
centropublicaciones@magrama.es

NIPO: 280-12-192-5

NIPO: 280-12-193-0 (CD)

ISBN: 978-84-491-1232-4

Depósito Legal: M-38848-2012

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

Datos técnicos: Formato: 17 x 24 cm. Caja de texto: 13,6 x 20,2 cm. Composición: dos columnas. Tipografía: Rockwell Light con cuerpo 11. Papel: Interior en estucado con certificación FSC® de 115 g. Cubierta en Symbol Card de 300 g. con certificación FSC®. Tintas: 4/4 más barniz. Encuadernación: rústica.



El certificado FSC® (Forest Stewardship Council®) asegura que la fibra virgen utilizada en la fabricación de este papel procede de masas certificadas con las máximas garantías de una gestión forestal social y ambientalmente responsable y de otras fuentes controladas. Consumiendo papel FSC® promovemos la conservación de los bosques del planeta y su uso responsable.

ÍNDICE

Prólogo	7
1. Introducción	9
1.1. Química	11
1.2. Efectos tóxicos	12
1.2.1. Efectos del mercurio sobre la salud	13
1.2.2. Efectos del mercurio sobre la flora y fauna	14
2. El ciclo de vida del mercurio	17
2.1. Fuentes de producción	20
2.2. Usos del mercurio	21
2.3. Emisiones y vertidos	22
2.3.1. Fuentes puntuales	23
2.3.2. Fuentes difusas	24
2.4. Gestión de los residuos de mercurio	25
3. Marco regulatorio sobre el mercurio	27
3.1. Unión Europea	29
3.1.1. Estrategia Europea sobre el Mercurio	29
3.1.2. Reglamento (CE) N° 1102/2008 relativo a la prohibición de la exportación de mercurio metálico y ciertos compuestos y mezclas de mercurio y al almacenamiento seguro de mercurio metálico	29
3.1.3. Directiva 2011/97/CE del Consejo que modifica la Directiva 1999/31/CE en lo relativo a criterios específicos para el almacenamiento de mercurio metálico considerado residuo	30
3.1.4. Otra legislación relevante	30
3.2. España	30
3.2.1. Comunidades Autónomas	31
3.2.2. Acuerdos Voluntarios	31
4. Acciones a nivel global para reducir la cantidad de mercurio en circulación	33
4.1. Convenio sobre el Mercurio del PNUMA	35
4.2. Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA	35
4.3. Protocolo de Aarhus sobre Metales Pesados de UNECE	36
4.4. Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación	37
4.5. Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional	37
4.6. Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a nivel Internacional del PNUMA	38
4.7. Convenio sobre la protección del medio marino del Atlántico nordeste, o Convenio OSPAR	38

4.8. Convenio de Barcelona para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación	38
5. El mercurio en España	41
5.1. Minas de Almadén	43
5.2. Centro Tecnológico Nacional de Descontaminación de Mercurio	45
5.2.1. Contenedor para el almacenamiento temporal de mercurio metálico	46
5.2.2. Estabilización/Microencapsulación de mercurio	47
5.2.3. Remediación	50
5.2.4. Monitorización	51
ANEXO I	53
Referencias	61

Índice de figuras

Figura 1. Cinabrio cristalizado	11
Figura 2. El mercurio en la tabla periódica de los elementos	12
Figura 3. Mercurio metálico	12
Figura 4. Vías de exposición humana al mercurio	15
Figura 5. Ciclo del mercurio en la biosfera	19
Figura 6. Interacciones entre las diversas especies de mercurio en aguas oceánicas	20
Figura 7. Usos del mercurio	22
Figura 8. Descripción esquemática de las distintas fuentes de emisión y removilización de mercurio en el medio ambiente	23
Figura 9. Proporción de las emisiones antropógenas de mercurio a la atmósfera en todo el mundo procedentes de diversos sectores en 2005	24
Figura 10. Detalle de antigua zona extractiva de Minas de Almadén	43
Figura 11. Minas de Almadén en 1961	44
Figura 12. Centro Tecnológico Nacional de Descontaminación del Mercurio	45
Figura 13. Contenedor MERSADE	47
Figura 14. Proceso de estabilización de mercurio metálico	48
Figura 15. Producto resultante del proceso de estabilización/ microencapsulación ..	49
Figura 16. Esquema del talud de la escombrera	50
Figura 17. Escombrera del Cerco de San Teodoro	51
Figura 18. SIG Web Azogue	52

Prólogo

El mercurio ha sido un metal muy valorado desde tiempos remotos por sus especiales características, entre las que destaca su estado líquido a temperatura ambiente, usándose en distintos productos y procesos hasta nuestros días.

Sin embargo, la evidencia de los daños que ocasiona en el medio ambiente y el ser humano ha hecho que desde la esfera internacional hasta la nacional se hayan emprendido medidas para controlar su producción, emisión, usos y gestión de sus residuos con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud humana.

De entre las distintas fases del ciclo de vida del mercurio, la gestión del residuo de mercurio elemental (y de los residuos que contienen o están contaminados con mercurio) es un campo en el que se están desarrollando distintas técnicas para transformar el metal en otro compuesto no tóxico y conseguir que el mercurio no vuelva a introducirse en el medio ambiente.

En este sentido, España, ligada al mercurio desde la época de los romanos cuando comenzó la explotación de la mina de Almadén, Ciudad Real (la mayor reserva mundial de mercurio), ha puesto en marcha el Centro Tecnológico Nacional de Descontaminación de Mercurio cuyo objetivo principal es investigar y desarrollar tecnologías para la gestión segura del mercurio y abordar la formación de expertos, la creación de capacidad y la transferencia de las tecnologías a otros países. Entre los trabajos desarrollados destaca el procedimiento de estabilización y microencapsulación de mercurio metálico cuyo producto final es un sólido más resistente que el hormigón y prácticamente inerte.

Este documento pretende dar a conocer las soluciones desarrolladas por el Centro Tecnológico Nacional de Descontaminación de Mercurio para la gestión segura del mercurio una vez expuestas sus características, comportamiento y ciclo de vida.

1. INTRODUCCIÓN

El mercurio y su mineral principal, el cinabrio, son conocidos y utilizados desde tiempos remotos. En el desarrollo de sus primeras culturas, pueblos como China, Egipto y Asiria conocían la existencia del cinabrio y su aplicación como pintura en forma de bermellón (polvo de cinabrio).



Figura 1. Cinabrio cristalizado

Ya en el año 1200 a.C. se extraía mercurio en las minas de Kwichan, en China. Los alquimistas chinos, que conocían bien el mercurio y lo obtenían a partir del mineral de cinabrio, consideraban que podía alargar la vida mejor que el oro. Los egipcios, durante la dinastía faraónica XVIII-XIX (1600-1500 a.C.) hicieron uso del mercurio, como lo prueba el hecho de haber encontrado mercurio líquido en una vasija funeraria de dicha época. Los griegos y los romanos también utilizaron el cinabrio como pintura (bermellón) y algunos de sus más renombrados médicos, Hipócrates por ejemplo, lo utilizaron en forma de ungüento al no considerarlo tóxico por vía dérmica.

Durante más de veinte siglos, el mercurio ha sido conocido y utilizado por

diversas culturas a lo largo y ancho de todo el mundo. Sin embargo, su consumo hasta finales del siglo XV parece escaso y casi exclusivamente como bermellón para la fabricación de pinturas.

En 1557, se produjo el punto de inflexión para el consumo de mercurio a gran escala, al desarrollar Bartolomé Medina un método llamado "Beneficio del Patio" que servía para la amalgamación en frío de los minerales de la plata en lugar de fundir los minerales directamente. Este hecho permitió un rápido desarrollo económico de los virreinos de Nueva España y del Perú. Torricelli en 1643 lo utilizó en su barómetro, Fahrenheit en su termómetro en 1720, y a Priestley le sirvió de fundamento a finales del siglo XVIII para el análisis de gases.

En España, la historia de este metal está muy vinculada con la comarca de Almadén, en Ciudad Real, donde se encuentran los mayores yacimientos de mineral de cinabrio conocidos hasta el momento. Su importancia aumentó exponencialmente durante los siglos XVI y XVII al utilizarse el mercurio para la amalgamación de los minerales de oro y plata descubiertos en América.

1.1. QUÍMICA

El mercurio es un elemento constitutivo de la tierra que existe de manera natural en el medio ambiente en una gran variedad de formas, siendo la más frecuente como mineral de cinabrio (HgS). En su forma pura se lo conoce como mercurio elemental o metálico. Es un metal brillante con color de plata blanquecina, líquido a temperatura am-

biente, de densidad elevada y mal conductor del calor pero relativamente buen conductor de la electricidad. Sin embargo no es común encontrarlo de esta forma en el medio ambiente,

siendo más habitual su presencia en forma de compuestos inorgánicos o sales de mercurio como el sulfuro de mercurio (HgS), el óxido de mercurio (HgO) o el cloruro de mercurio (HgCl₂).

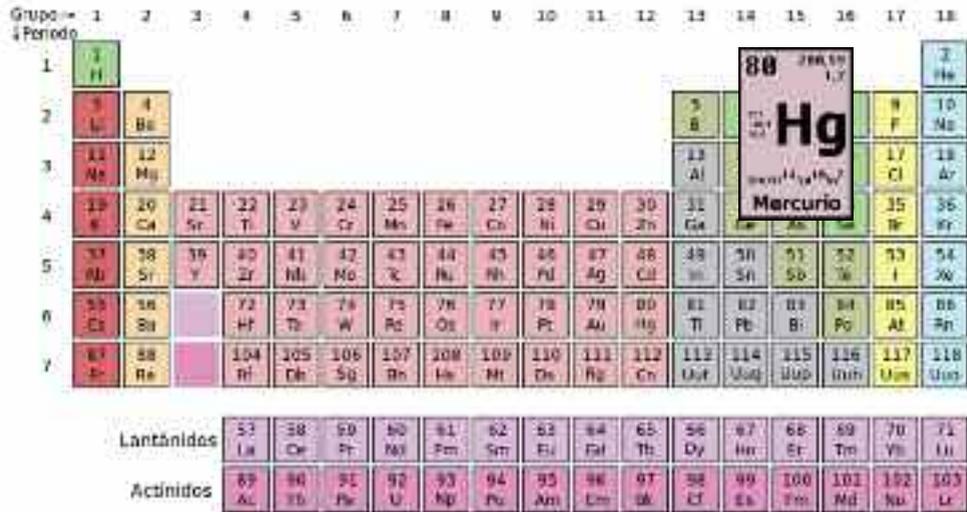


Figura 2. El mercurio en la tabla periódica de los elementos

El nombre y símbolo del mercurio (Hg) se deriva de la palabra griega hydrargyros (hydros= agua; argyros= plata). Los romanos llamaron al mercurio "Argentum Vivum", que significa "plata líquida" debido a que era el único elemento conocido que era líquido a temperatura ambiente.



Figura 3. Mercurio metálico

El mercurio puede combinarse con carbono formando compuestos conocidos como compuestos "orgánicos" de mercurio u organomercuriales (como el dimetilmercurio, fenilmercurio, etilmercurio y metilmercurio), los cuales son, en su gran mayoría, no solubles ni reaccionan con ácidos débiles o bases. El más conocido de estos compuestos es el metilmercurio, generado por microorganismos y procesos bióticos a partir de otras formas de mercurio.

1.2. EFECTOS TÓXICOS

El mercurio y sus compuestos son sustancias tóxicas cuyos efectos potenciales deben ser estudiados detenidamente. La toxicidad del mercurio

dependerá de su forma química ya que según se trate de exposición al mercurio elemental, a sus compuestos inorgánicos o a los orgánicos como el metilmercurio, los síntomas y signos serán distintos.

Entre los compuestos orgánicos de mercurio, los compuestos de alquilmercurio (en particular, etilmercurio y metilmercurio) son similares en cuanto a toxicidad, aunque la del metilmercurio está mejor caracterizada. En cambio, el fenilmercurio se asemeja más al mercurio inorgánico en lo que respecta a la toxicidad.

La toxicidad de los compuestos orgánicos de mercurio como el metilmercurio se debe a su capacidad de atravesar la membrana celular y a su afinidad por algunos componentes de las proteínas, lo que hace que sean difíciles de eliminar.

El metilmercurio es particularmente problemático por su capacidad para bioacumularse en peces, tanto de agua salada como de agua dulce, así como en mamíferos marinos comestibles en concentraciones mucho mayores que las de las aguas circundantes. El término bioacumulación indica la acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan progresivamente concentraciones más elevadas que el medio ambiente que les rodea. Además, se produce el fenómeno conocido como biomagnificación, acumulación progresiva de ciertas sustancias persistentes de un nivel trófico a otro de la cadena alimentaria, por lo que depredadores que se encuentran en lo alto de la cadena alimentaria registrarían concentraciones aun más elevadas de mercurio.

1.2.1. Efectos del mercurio sobre la salud

Respecto al mercurio elemental y los compuestos inorgánicos de mercurio, hay que mencionar que su principal vía de exposición es por inhalación de sus vapores que son absorbidos por los tejidos pulmonares. Las inhalaciones continuadas de vapor de mercurio elemental pueden producir trastornos neurológicos y de comportamiento, cuyos síntomas son temblores, labilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, cambios en el sistema neuromuscular y dolores de cabeza, además de afectar al riñón y el tiroides.

El metilmercurio puede provocar efectos perjudiciales en el cerebro en gestación. Traspasa con facilidad la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica, por lo que su exposición durante el embarazo puede ser preocupante. El comité conjunto de expertos de aditivos alimentarios de la FAO y la OMS, JECFA, concluyó en su momento que el metilmercurio puede inducir efectos tóxicos en el sistema nervioso, el hígado, los riñones, así como en los órganos reproductivos. Por ello, las mujeres embarazadas o en periodo de lactancia junto con los bebés son los principales grupos de riesgo de la contaminación por metilmercurio.

En los años 50, se produjo en la Bahía de Minamata (Japón) uno de los episodios de contaminación por metilmercurio más importantes sufridos por la población. Entre 1932 y 1968, una planta de acetaldehído vertió efluentes que contenían mercurio en la Bahía de Minamata y posteriormente en el río Minamata y el Mar de Shiranui. El metilmercurio se bioacumuló en los mariscos y peces (que forman parte de la dieta de la población local) y más de

200.000 personas estuvieron expuestas a la contaminación. A raíz de este accidente, se observaron efectos en adultos tales como parestesia o trastornos sensoriales en las extremidades, ataxia, malestar y visión borrosa; con una mayor exposición, aparecían signos tales como una constricción concéntrica del campo visual, sordera, disartria y, en los casos de intoxicación aguda, coma y muerte (Harada, 1995).

El mercurio se encuentra de forma predominante como metilmercurio en algunos tipos de pescado como resultado de la presencia natural del mercurio en el medio ambiente y de la polución. Las grandes especies predatoras acumulan elevadas cantidades de mercurio mediante ingesta a lo largo de toda su vida. Basándonos en la información actual, se puede afirmar que la exposición a metilmercurio por otro tipo de alimentos es insignificante (EFSA, 2004).

Las autoridades alimentarias de la Unión Europea advierten de los riesgos asociados a los niveles de metilmercurio en ciertas especies de peces, especialmente el atún y el pez espada, en relación con ciertos sectores vulnerables, tales como los niños y las mujeres gestantes/lactantes (EFSA, 2004; 2005). La legislación europea establece que el contenido máximo de mercurio en pescado será inferior a 0,50 o 1 mg/kg de peso fresco, en función del tipo de pescado (Reglamento (CE) N° 1831/2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios).

Ante todo hay que destacar que el consumo de pescado, especialmente de especies ricas en ácidos grasos n-3 ácidos eicosapentanoico (EPA) y docosa-

hexanoico (DHA), reduce el riesgo de muerte coronaria en un 36% y la mortalidad total en un 17% y puede afectar de forma favorable a otros resultados clínicos (Mozzaffarian and Rimm, 2006). Para mujeres en edad fértil, los beneficios de una ingesta moderada de pescado, excepto algunas especies, también supera los riesgos.

El consumo de pescado proporciona energía, proteínas y otros nutrientes. No se tiene una evidencia probable o convincente, en relación al riesgo de enfermedades coronarias asociadas al metilmercurio. Patrones alimenticios que incluyen el consumo de pescado en una edad temprana de la vida, tienen una influencia positiva en la salud durante la edad adulta (FAO/WHO Grupo Conjunto de Expertos, 2010).

El mercurio y sus compuestos pueden estar también presentes en productos utilizados en los hogares y lugares de trabajo, lo que puede aumentar sustancialmente la exposición humana. Aun se mantiene el uso en productos o artículos de precisión, farmacéuticos, eléctricos, etc.

1.2.2. Efectos del mercurio sobre la flora y fauna

Tal y como se ha comentado anteriormente, un factor fundamental de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y biomagnificarse a medida que se asciende en la cadena alimentaria.

En el medio acuático, integrado por más niveles, se suele alcanzar un grado mayor de biomagnificación. Las especies piscívoras como aves marinas, focas y nutrias se encuentran en los estratos superiores.



Figura 4. Vías de exposición humana al mercurio

La exposición al mercurio en las primeras etapas de vida de algunos peces puede afectar a su crecimiento, desa-

rollo y estado hormonal (US EPA, 1997 (Volume VI); Friedman *et al.*, 1996; Wiener y Spry, 1996). Si bien la exposición directa al metilmercurio no sería una preocupación seria en el caso de los peces adultos, la exposición indirecta en los huevos y embriones en desarrollo sí que puede producir efectos perjudiciales (Wiener y Spry, 1996).

En el caso de la bahía de Minamata se observaron efectos neurológicos serios y dificultades para volar en aves, y conductas anormales en animales domésticos, principalmente gatos cuya dieta contenía mucho pescado.

Por otra parte, algunos estudios científicos sugieren que el mercurio puede ocasionar una reducción de la actividad microbológica en la capa superior de los suelos, lo que disminuye el procesamiento del carbono y otros nutrientes afectando negativamente a las condiciones de vida de los árboles y organismos del suelo.

2. EL CICLO DE VIDA DEL MERCURIO

El mercurio está presente en la corteza terrestre a razón de 0,05 mg/kg promedio, con variaciones locales significativas, siendo los océanos las mayores reservas de mercurio. Entra a formar parte de los distintos medios (agua, suelo y aire) como consecuencia de procesos naturales (actividad volcánica o erosión natural de las rocas) y de la actividad antropogénica (minería primaria de metales o combustión de combustibles fósiles como el carbón, entre otros). Una vez en el medio am-

biente puede encontrarse en forma de mercurio elemental, en alguna de sus formas oxidadas o formando compuestos inorgánicos u orgánicos, variando así la capacidad para evaporarse, depositarse, su tiempo de residencia o la solubilidad. Las formas naturales más comunes de mercurio que se encuentran en el ambiente son el mercurio elemental o metálico, sulfuro de mercurio, cloruro de mercurio y metilmercurio. El ciclo de vida del mercurio en la biosfera se puede observar en la figura 5.

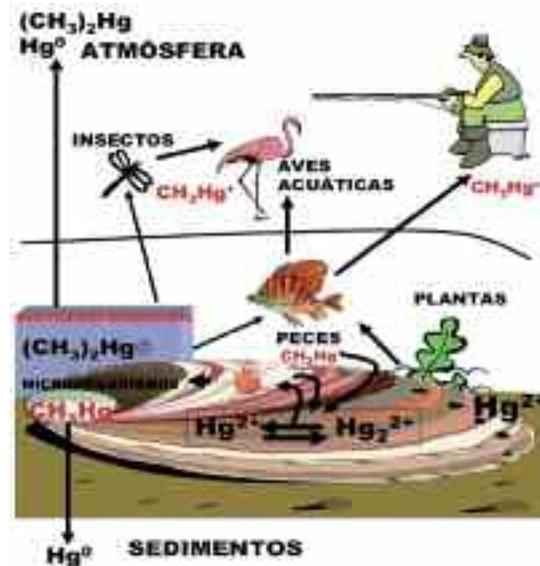


Figura 5. Ciclo de mercurio en la biosfera

El mercurio elemental, en estado líquido a temperatura ambiente, puede evaporarse y pasar a la atmósfera donde tiene un tiempo de residencia estimado de uno a dos años. Esta característica permite que se distribuya de forma homogénea en la troposfera transportándose a escala hemisférica y llegando incluso a regiones alejadas de

las fuentes de emisión. Un ejemplo de este transporte es la detección de mercurio en la región Ártica donde el hielo analizado tiene cada vez concentraciones mayores.

Por el contrario, el mercurio oxidado ($Hg(II)$), resultado de la oxidación del mercurio elemental, se puede depositar

ponía aproximadamente un 40% de la producción primaria.

Dentro de la producción primaria, las minas de Almadén (Ciudad Real, España) fueron la principal fuente de suministro de mercurio a nivel mundial. La segunda mina más importante en producción se encontraba en Eslovenia (Idria) y la tercera en Italia (Monte Amiata). En la actualidad solo existen minas de mercurio en China (para consumo interno) con una producción anual estimada en 1.000-1.100 toneladas, y en Kyrgyzstan, siendo esta la única que exporta mercurio. En 2006 se estimaba que su producción anual era de alrededor de 400 toneladas.

Entre las actividades también consideradas como fuente de suministro dentro de la producción secundaria destacan:

- ❑ Producción de mercurio como subproducto de actividades extractivas de minerales tanto féreos como no féreos o de la depuración del gas natural, estimada en unas 450-600 toneladas anuales (t/a).
- ❑ Recuperación del mercurio empleado en la industria de cloro-sosa, estimada en unas 600-800 t/a teniendo en cuenta su desmantelamiento por cese de actividad o cambio a tecnología de membrana, libre de mercurio.
- ❑ Reciclado de productos que contienen mercurio como las lámparas fluorescentes de bajo consumo o el reciclado de residuos que contienen mercurio, estimada en unas 450-520 t/a.
- ❑ Reciclado de residuos procedentes de la industria de cloro-sosa, estimado en 90-140 toneladas anuales.

- ❑ Reutilización de stocks existentes, estimados entre 0 y 200 t/a.

En total, la cantidad de mercurio producida anualmente a nivel mundial se estima en torno a las 3.000-3.800 toneladas (PNUMA 2006).

2.2. USOS DEL MERCURIO

El mercurio elemental ha sido utilizado en muchos productos y procesos industriales debido a sus características especiales, propiedades por las que se le ha considerado un material excelente en múltiples aplicaciones. Es un metal en forma líquida a temperatura ambiente, es un buen conductor eléctrico, tiene una densidad muy elevada y una elevada tensión superficial, posee capacidad para expandirse o contraerse en respuesta a cambios de presión y temperatura. Por otro lado, es tóxico para los microorganismos patógenos, por lo que presenta actividad biocida y puede utilizarse como conservante.

Entre los procesos industriales que utilizan mercurio, la producción de cloro y sosa cáustica (plantas de cloro-sosa) destaca por la cantidad de mercurio que emplea, junto con la producción de cloruro de vinilo monómero y la extracción de oro en la minería artesanal de pequeña escala (ASGM). El mercurio como componente del producto final se encuentra en vacunas (donde actúa como conservante), baterías, amalgamas dentales, equipos de medición y control, lámparas, aparatos eléctricos y electrónicos. Incluso cabría mencionar que en determinadas culturas el mercurio se sigue utilizando como remedio medicinal o en rituales religiosos en Asia y América Latina.

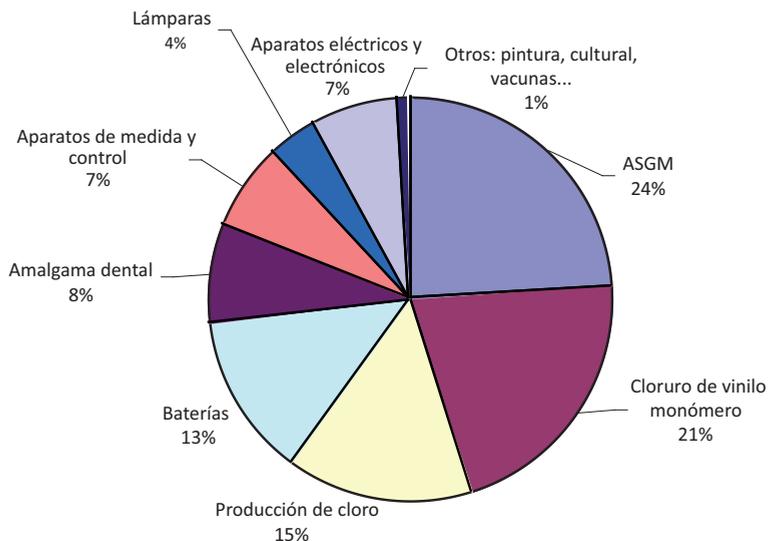


Figura 7. Usos del mercurio.

Fuente: Reducing mercury use in Artisanal and small-scale Gold mining. UNEP 2011

La demanda de mercurio anual según proyecciones del PNUMA se estima en 2015 en más de 3.000 toneladas anuales, similar a la cantidad de mercurio producida, aunque estas estimaciones hechas en 2005 no tienen en cuenta la legislación que se ha implantado desde entonces en lo referente a la prohibición a la exportación ni la creciente demanda de mercurio para ASGM.

En el ámbito de la UE, la demanda de mercurio se estima en torno a las 300-400 toneladas anuales, siendo la industria de cloro-sosa uno de los principales usuarios, con unas 160-190 toneladas anuales de mercurio, aunque el proceso electrolítico que utiliza mercurio se ha de eliminar paulatinamente. Las amalgamas dentales, con entre 90 y 110 toneladas anuales, también ocupan un lugar destacado en cuanto a la demanda de mercurio. Actualmente existe legislación europea que regula la gestión de los residuos de las amalgamas dentales de mercurio, así como el uso y la ges-

ción de las lámparas o los equipos eléctricos que lo contienen.

2.3. EMISIONES Y VERTIDOS

El ser humano ha estado extrayendo y usando mercurio desde hace cientos de años, lo que ha supuesto la entrada en el medio ambiente de grandes cantidades de este metal. Las emisiones han creado un reservorio de mercurio global que se moviliza continuamente, depositándose y volviéndose a movilizar. Las fuentes antropogénicas se han incrementado drásticamente como consecuencia de la industrialización, lo que contribuye al aumento del stock de mercurio en el medio ambiente en permanente circulación entre el aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota.

A nivel global, en la figura 8 se describe de manera esquemática las principales fuentes de emisión y procesos de re-

movilización que afectan a la distribución del mercurio en el medio ambiente.

Se pueden considerar dos tipos principales de fuentes de emisión antropogénica: puntuales (98%) y difusas (2%).

2.3.1. Fuentes puntuales

El mercurio se encuentra asociado a combustibles fósiles susceptibles de

utilizarse en procesos de combustión. Debido a la volatilidad de este metal y a las temperaturas alcanzadas en dichos procesos, el mercurio puede ser liberado como contaminante traza junto con los gases de combustión. Por este motivo, las grandes plantas de combustión de carbón utilizadas para obtener electricidad o calor son la principal fuente de emisión de mercurio a la atmósfera.

La minería de metales no férricos como el zinc, plomo, cobre y oro también son

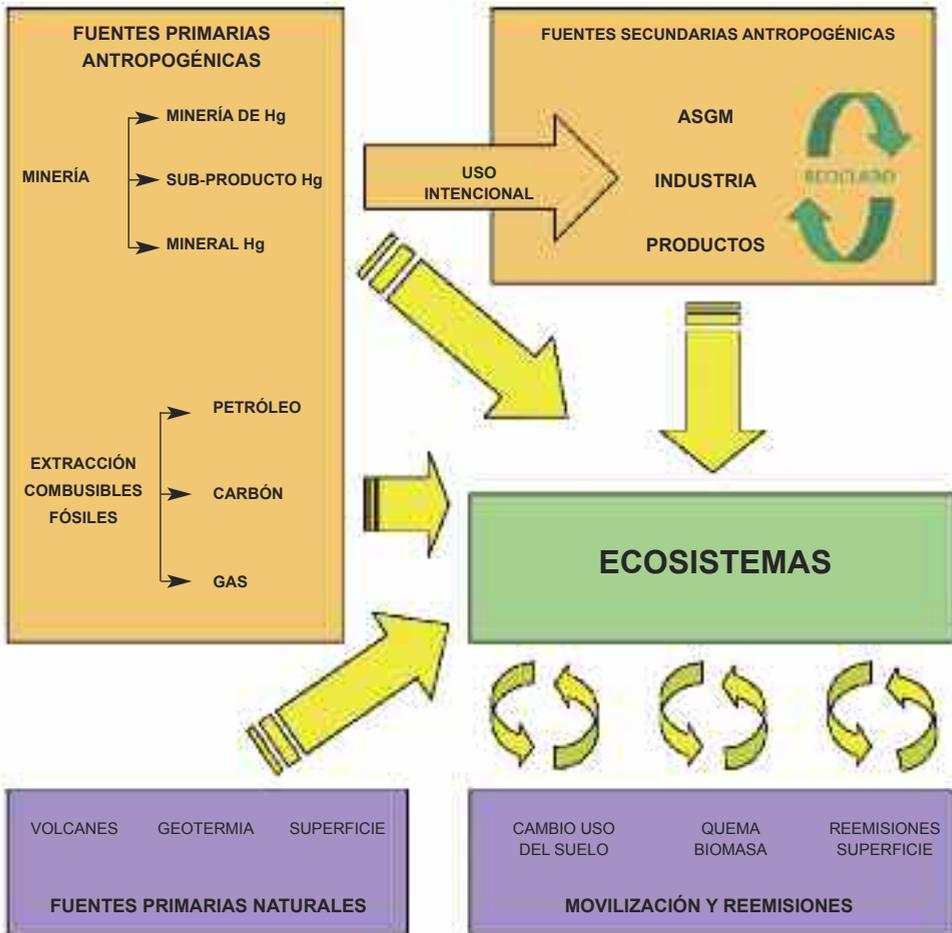


Figura 8. Descripción esquemática de las distintas fuentes de emisión y removilización de mercurio en el medio ambiente. Las flechas amarillas representan las emisiones de mercurio y su consiguiente transporte y depósito en los ecosistemas. Fuente: Technical background report to the Global Atmospheric Mercury Assessment. AMAP/UNEP 2008

una fuente importante de emisiones atmosféricas, ya que en procesos como la extracción, fundición o aleación de los metales puede liberarse mercurio presente como impureza en la materia prima. Aunque en menor medida que la minería no férrea, la producción de hierro y acero también debe ser considerada.

La minería de oro a pequeña escala, que utiliza mercurio en la extracción debido a la capacidad de formar amalgama con el oro, es un importante emisor en países que todavía utilizan esta técnica.

En la producción de cemento el mercurio potencialmente emitido puede provenir tanto de la materia prima (piedra caliza) como de los combustibles utilizados en su proceso de obtención, principalmente carbón.

Las incineradoras de residuos peligrosos, médicos o urbanos que pueden contener mercurio y los crematorios, donde puede ocurrir la volatilización de

mercurio procedente de empastes dentales, son así mismo fuentes de emisión.

Por otro lado, la producción primaria de mercurio y la industria de cloro-sosa representan un porcentaje muy pequeño del total del mercurio emitido.

2.3.2. Fuentes difusas

Las fuentes difusas representan el 2% de las emisiones antropogénicas. Están mucho más extendidas y en ocasiones son difíciles de localizar al ser fuentes pequeñas, numerosas y que no pueden asociarse fácilmente con un punto geográfico concreto (rotura de lámparas, uso en laboratorios, disposición en vertederos, fuentes móviles, uso de pinturas, etc.).

Las estimaciones de emisiones mundiales a la atmósfera de mercurio se sitúan en más de 1.900 toneladas anuales, de las que la mayoría procede de la combustión de carbón en centrales térmicas, segui-

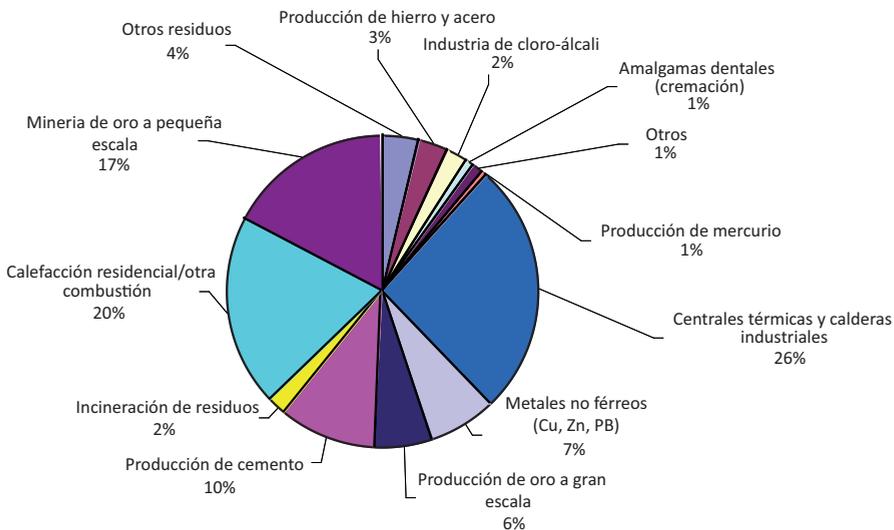


Figura 9. Proporción de las emisiones antropogénicas de mercurio a la atmósfera en todo el mundo procedentes de diversos sectores en 2005. Fuente: Estudio de las fuentes y emisiones de mercurio y análisis del costo y la eficacia de las medidas de control "Estudio del PNUMA pedido en el párrafo 29" División de Tecnología, Industria y Economía (DTIE) subdivisión de productos químicos, Noviembre de 2010

das de las procedentes de la calefacción residencial, tal como refleja la figura 9.

Por otro lado, las principales fuentes de emisión al agua y al suelo son las siguientes:

- Instalaciones de fabricación de productos con mercurio añadido.
- Procesos de fabricación que usan mercurio y compuestos de mercurio. Por ejemplo la producción de clorosa con celda de mercurio, de cloruro de vinilo monómero o procesos de producción en los que se use mercurio como catalizador.
- Operaciones de recuperación, reciclado y procesado de mercurio a partir de fuentes secundarias de producción.
- Minería de oro a pequeña escala.
- Instalaciones de eliminación de residuos de mercurio.
- Prácticas dentales.

2.4. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE MERCURIO

Debido a la elevada movilidad del mercurio y a su persistencia en el medio ambiente, los residuos de mercurio deben gestionarse de forma ambientalmente racional, reduciendo al

máximo posible el riesgo de que se produzcan liberaciones al medio ambiente.

En Europa, los residuos sólidos que contienen mercurio pueden depositarse en vertederos siempre que cumplan una serie de criterios relacionados con la no liberación de mercurio al medio a través de lixiviados. En función de dicho valor, el residuo podrá destinarse a un tipo de vertedero u otro con diferentes medidas para el control de emisiones.

La gestión de los residuos de mercurio es cada vez más compleja, ya que las fuentes que proporcionan mercurio son diversas. Entre estas fuentes hay que mencionar especialmente los lodos de la industria cloro-alcalina, los productos del filtrado de gas natural, los tubos fluorescentes usados, baterías, etc.

Capítulo aparte merece la gestión de mercurio metálico en estado puro clasificado como residuo. En este caso, la política medioambiental existente se dirige a conseguir un aislamiento de la biosfera total, seguro y permanente a través de pretratamientos de estabilización/solidificación seguidos de un almacenamiento permanente y definitivo en instalaciones cuyas condiciones de confinamiento se determinarán en el futuro dependiendo de las propiedades del propio mercurio estabilizado/solidificado.

3. MARCO REGULATORIO SOBRE EL MERCURIO

3. MARCO REGULATORIO SOBRE EL MERCURIO

3.1. UNIÓN EUROPEA

Los principales objetivos que persiguen las distintas políticas adoptadas en la Unión Europea respecto del mercurio metálico incluyen la gestión ambientalmente racional del mercurio metálico y de los compuestos de mercurio, la promoción el uso de nuevas tecnologías para estabilizar/solidificar mercurio metálico, y la reducción de los movimientos transfronterizos de mercurio.

3.1.1. Estrategia Europea sobre el Mercurio

La Comisión Europea adoptó la Estrategia Europea sobre el Mercurio en el año 2005, estableciendo 20 medidas enfocadas a la reducción de los niveles de mercurio en el medio ambiente y la exposición del ser humano a dicho elemento. Las medidas propuestas se engloban en seis objetivos principales:

- Reducir las emisiones de mercurio;
- Restringir la oferta y la demanda de esta sustancia;
- Gestionar las cantidades de mercurio actualmente existentes (almacenadas o presentes en los productos);
- Prevenir la exposición de las poblaciones;
- Mejorar la comprensión del problema y sus soluciones;
- Promover iniciativas internacionales en este ámbito.

Aunque esta Estrategia no sea un instrumento jurídicamente vinculante, las

acciones que incorpora sí se han traducido posteriormente en medidas vinculantes, como por ejemplo, la promulgación posterior del Reglamento (CE) N° 1102/2008 relativo a la prohibición de la exportación de mercurio metálico y ciertos compuestos y mezclas de mercurio y al almacenamiento seguro de mercurio metálico. Además, el desarrollo de la Estrategia ha logrado progresos en el conocimiento de tipo técnico y científico, y en la concienciación de la población.

3.1.2. Reglamento (CE) N° 1102/2008 relativo a la prohibición de la exportación de mercurio metálico y ciertos compuestos y mezclas de mercurio y al almacenamiento seguro de mercurio metálico

Este Reglamento aprobado en octubre de 2008, cuyo objetivo es reducir la cantidad de mercurio disponible a nivel global, prohíbe la exportación de mercurio metálico, mineral de cinabrio, cloruro de mercurio, óxido de mercurio y mezclas de mercurio metálico con otras sustancias, incluidas las amalgamas, con una concentración porcentual peso por peso de al menos un 95%, hacia países fuera de la Unión Europea y desde el 15 de marzo de 2011.

Como la prohibición de las exportaciones de estos compuestos y del mercurio metálico provocaría unos excedentes considerables de mercurio en la región, se debe garantizar el almacenamiento ambientalmente racional de este mercurio.

En este sentido, se establece que la mayoría del mercurio metálico disponible procedente de las fuentes mayoritarias pasa a ser un residuo a partir de la mencionada fecha en coherencia con la medida anterior. En concreto se trata del mercurio metálico que no se utilice en la industria cloro-alcalina, el mercurio metálico obtenido como subproducto de la limpieza de gas natural, o de las operaciones de minería y fundición de minerales no-férreos, así como el mercurio metálico obtenido a partir del mineral de cinabrio.

El Reglamento señala que este residuo se podrá almacenar temporal o permanentemente según unos criterios que se establecerían a posteriori a través de la modificación de la Directiva 1999/31/CE del Consejo relativa al vertido de residuos.

Dicha modificación ha sido realizada solo parcialmente con la Directiva 2011/97/CE sobre criterios para almacenamiento temporal, debido a la reducida información disponible respecto al comportamiento de residuos de mercurio metálico almacenados de forma definitiva y al avance de las técnicas de estabilización/solidificación.

De cara al futuro, en una posible revisión de dicho Reglamento se contemplará la obligación de almacenamiento de mercurio procedente de otras fuentes de suministro, así como extender la prohibición de exportación a otros compuestos de mercurio, prohibir las importaciones, o revisar las investigaciones en curso relativas a las opciones de eliminación definitiva incluyendo las tecnologías de estabilización y solidificación para establecer sus posibles criterios.

3.1.3. Directiva 2011/97/CE del Consejo que modifica la Directiva 1999/31/CE en lo relativo a criterios específicos para el almacenamiento de mercurio metálico considerado residuo

Establece los requerimientos a aplicar en caso de almacenamiento temporal superior a un año y con un límite de 5 años de mercurio metálico mediante la modificación de los Anexos I, II y III de la Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos.

Se incluyen criterios específicos relativos a las condiciones de almacenamiento del mercurio metálico, su composición, los contenedores en que se almacene, los procedimientos de aceptación del residuo, el certificado que ha de acompañar al residuo, y los requerimientos de monitorización, inspección y situaciones de emergencia.

3.1.4. Otra legislación relevante

Además de los textos legislativos mencionados anteriormente, la Unión Europea regula el mercurio en distintos puntos de su ciclo de vida, desde su uso hasta su gestión como residuo, incluyendo las emisiones a la atmósfera o los valores máximos admisibles en los distintos compartimentos ambientales. En el Anexo I, se incluye una relación de distintas Directivas y Reglamentos que regulan el mercurio clasificadas en función de las fases del ciclo de vida.

3.2. ESPAÑA

Al igual que en el caso de la legislación comunitaria, la legislación española regula el mercurio en diversos ámbitos,

desde la calidad ambiental a la protección de la salud, pasando por la comercialización y la gestión de los residuos. Así mismo en el Anexo I se incluye una relación de los distintos textos normativos de carácter nacional que regulan el mercurio en España, resultado de la transposición de normativa europea.

3.2.1. Comunidades Autónomas

Respecto a las Comunidades Autónomas, varias de ellas tienen legislación que de forma directa o indirecta regula el mercurio en el ámbito del medio ambiente. Se destacan algunas de estas leyes autonómicas en el Anexo I.

3.2.2. Acuerdos Voluntarios

Desde hace unos años se están aplicando nuevas herramientas de gestión ambiental que complementan a las tradicionales herramientas económicas y legislativas. Entre otras, destaca la adopción de acuerdos voluntarios por parte de la industria. De esta forma las auto-

ridades ambientales traspasan, de manera participativa y transparente, la responsabilidad de proteger el medio ambiente a los agentes sociales relevantes, aunque sin dejar de asumir su responsabilidad de velar por la aplicación de políticas de sostenibilidad.

Con respecto a la problemática del mercurio un ejemplo es el Acuerdo Voluntario para la Protección Ambiental y el Control de Emisiones del Sector Cloro-Álcali Español, firmado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, las Consejerías de Medio Ambiente de cinco CC.AA. (Andalucía, Aragón, Cantabria, Cataluña y País Vasco), la Asociación Española de Productores de Cloro ANE y las empresas que la integran. Mediante este acuerdo voluntario la industria del cloro se comprometió a llevar a cabo actuaciones encaminadas a seguir reduciendo las emisiones de mercurio en las plantas con tecnología que utiliza este elemento con plazos para acotar la eventual modificación hacia un proceso libre de mercurio.

4. ACCIONES A NIVEL GLOBAL PARA REDUCIR LA CANTIDAD DE MERCURIO EN CIRCULACIÓN

4. ACCIONES A NIVEL GLOBAL PARA REDUCIR LA CANTIDAD DE MERCURIO EN CIRCULACIÓN

Consciente de la necesidad de adoptar medidas de alcance global que reduzcan las emisiones de mercurio de forma efectiva, la comunidad internacional ha adoptado diversas iniciativas para regular en lo posible la producción, uso, manejo y gestión de este metal pesado. Las principales acciones a nivel internacional se están desarrollando bajo el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA (UNEP en sus siglas en inglés).

4.1. CONVENIO SOBRE EL MERCURIO DEL PNUMA

En febrero de 2009, durante la XXV Reunión del Consejo de Administración del PNUMA, celebrada en Nairobi (Kenya), y en la que participaron más de 140 países, el Consejo de Administración del PNUMA en su Decisión GC 25/5, reconociendo que el mercurio es motivo de preocupación global, creó un Comité Intergubernamental de Negociación (INC) para elaborar un convenio internacional jurídicamente vinculante sobre mercurio.

Este instrumento, en proceso de elaboración y negociación, incluirá disposiciones y medidas sobre todas las etapas del ciclo de vida del mercurio con el claro objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente global. Las disposiciones principales abordarán la reducción de las cantidades de mercurio disponibles, del uso del mercurio en productos y procesos, de las emisiones de mercurio a la atmósfera, y la gestión ambientalmente racional de los residuos de mercurio. Se espera que la firma de este Convenio mundial de mercurio tenga lugar mediante Confe-

rencia Diplomática en Japón en 2013 con el nombre previsible de Convenio de Minamata.

4.2. ASOCIACIÓN MUNDIAL SOBRE EL MERCURIO DEL PNUMA

El objetivo general de la Asociación Mundial sobre el Mercurio (GMP por sus siglas en inglés) es “proteger la salud humana y el medio ambiente del planeta de las emisiones de mercurio y de sus compuestos mediante la reducción al mínimo, y cuando sea viable, la eliminación en última instancia de las emisiones mundiales de mercurio a partir de fuentes antropógenas que contaminan el aire, el agua y la tierra”.

La Decisión GC 25/5 del Consejo de Administración del PNUMA señaló a la Asociación Mundial sobre el Mercurio como uno de los principales mecanismos a la hora de ejecutar de manera eficiente actividades relacionadas con la gestión del mercurio en todas las fases de su ciclo de vida al mismo tiempo que se desarrollan las negociaciones para el establecimiento de un instrumento jurídicamente vinculante sobre el mismo.

La Asociación Mundial sobre el Mercurio está integrada por representantes de gobiernos, organizaciones de integración económica regional y los principales grupos y sectores relacionados con el mercurio (incluidas ONG, el sector de la ciencia y el sector de la industria).

Se organiza en 7 esferas de actuación que abordan las cuestiones prioritarias:

	Esfera de Actuación	País/Organización líder
1	Reducción del mercurio en la minería aurífera artesanal de pequeña escala	Org. Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO) y Consejo de Defensa de los Recursos Naturales (NRDC)
2	Control del mercurio en la combustión del carbón	Centro IEA de Carbón Limpio
3	Reducción del mercurio en el sector cloro-sosa	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)
4	Reducción de mercurio en productos	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)
5	Transporte aéreo del mercurio e investigación de su destino final	Consiglio Nazionale delle Ricerche
6	Gestión de residuos de mercurio	Ministerio de Medio Ambiente de Japón
7	Suministro y almacenamiento de mercurio	España y Uruguay

España se unió en septiembre de 2011 a la Asociación Mundial sobre el Mercurio en el área de “Suministro y Almacenamiento de Mercurio”, área en la que fue nombrada líder junto a Uruguay en la reunión de la Asociación celebrada en noviembre de 2011 en Nairobi. Los proyectos desarrollados en esta esfera de asociación se dividen en tres áreas:

- Actividades relacionadas con el suministro de mercurio.
- Actividades relacionadas con el almacenamiento de mercurio.
- Proyectos pilotos de almacenamiento de residuos.

4.3. PROTOCOLO DE AARHUS SOBRE METALES PESADOS DE UNECE

El Órgano Ejecutivo de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE) adoptó en 1998 el Protocolo de Aarhus sobre metales pesados (entró en vigor en 2003). El objetivo de este protocolo es controlar las emisiones de metales pesados (sobre todo de cadmio, plomo y mercurio) causadas por actividades antropogénicas. Los estados Partes del mismo tendrán que reducir sus emisiones por debajo de los niveles de 1990, teniendo en cuenta sus circunstancias particulares.

Actividades industriales como la producción de minerales no férreos, la in-

industria del hierro y el acero, los procesos de combustión o la incineración de residuos se identifican como fuentes de emisión en las que aplicar Mejores Técnicas disponibles tales como filtros especiales, lavadores de aire para procesos de combustión, o cambiar a procesos alternativos que no usen mercurio. Se establecen valores límite de emisión y obliga a las Partes a desarrollar un inventario de emisiones.

El Protocolo también introduce medidas para rebajar las emisiones de metales procedentes de productos como baterías, así como medidas de gestión para otros productos que contengan mercurio como componentes eléctricos (termostatos, enchufes), equipos de medición (termómetros, barómetros), lámparas fluorescentes, amalgamas dentales, pesticidas o pinturas.

España ratificó este Protocolo de Metales Pesados en septiembre de 2011, asumiendo todas las obligaciones derivadas de él.

4.4. CONVENIO DE BASILEA SOBRE EL CONTROL DE LOS MOVIMIENTOS TRANSFRONTERIZOS DE DESECHOS PELIGROSOS Y SU ELIMINACIÓN

El Convenio de Basilea se adoptó en 1989 (entró en vigor en 1992) con el objetivo global de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los efectos adversos de los residuos peligrosos. Su ámbito de aplicación cubre una amplia variedad de residuos definidos como "residuos peligrosos" basándose en su origen y/o composición y sus características. También se consideran los desechos domésticos y cenizas de incineradores.

Clasificados por su origen se contemplan una serie de residuos de mercurio o de sus compuestos que deberán someterse a una gestión adecuada para evitar sus efectos perjudiciales una vez se retiren definitivamente de la circulación.

En el Marco del Convenio de Basilea, se han desarrollado Guías Técnicas que establecen recomendaciones no vinculantes para la gestión ambientalmente racional de residuos de mercurio elemental y residuos que contengan mercurio o estén contaminados con mercurio en donde, por ejemplo, se abordan los posibles tratamientos a los que se debe someter al mercurio elemental antes de proceder a su eliminación definitiva.

España ratificó el Convenio de Basilea en 1994.

4.5. CONVENIO DE ROTTERDAM SOBRE EL PROCEDIMIENTO DE CONSENTIMIENTO FUNDAMENTADO PREVIO APLICABLE A CIERTOS PLAGUICIDAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS PELIGROSOS OBJETO DE COMERCIO INTERNACIONAL

El Convenio de Rotterdam se adoptó en 1998 (entró en vigor en 2004) con el fin de promover la responsabilidad compartida y la cooperación entre las Partes en el ámbito del comercio internacional de determinadas sustancias químicas peligrosas con el objeto de proteger la salud humana y el medio ambiente. Además, pretende contribuir al uso ambientalmente racional de dichas sustancias químicas peligrosas, con un intercambio de datos de sus características de cara a un procedimiento nacional de toma de decisiones sobre su posible exportación, divulgando estas decisiones entre las Partes. De este modo, en

este Convenio se crean obligaciones legalmente vinculantes para la implementación de un Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo [PIC, por sus siglas en inglés (Prior Informed Consent)].

Las premisas del Reglamento (CE) N° 1102/2008 en cuanto a prohibición de exportaciones de mercurio metálico y ciertos de sus compuestos se encuentran recogidas en el correspondiente Reglamento Europeo de adopción del convenio de Rotterdam.

España ratificó este Convenio en 2004.

4.6. ENFOQUE ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS A NIVEL INTERNACIONAL DEL PNUMA

El Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a nivel Internacional del PNUMA (SAICM por sus siglas en inglés), adoptado en 2006 en Dubai, brinda un marco normativo de carácter voluntario que permita alcanzar la gestión adecuada de los productos químicos a lo largo de su ciclo de vida.

SAICM orienta sus esfuerzos a la consecución del objetivo del Plan de Aplicación de Johannesburgo que pretende que en 2020 los productos químicos se produzcan y utilicen de modo que no causen efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente.

Está compuesto por tres textos medulares: la Declaración de Dubai sobre la Gestión Internacional de los Productos Químicos, la Estrategia de Política Global y el Plan de Acción Mundial.

En el Plan de Acción Mundial se encuentran actividades que instan a adoptar

medidas para reducir el riesgo para la salud humana y el medio ambiente que plantea, a escala mundial, el mercurio.

4.7. CONVENIO SOBRE LA PROTECCIÓN DEL MEDIO MARINO DEL ATLÁNTICO NORDESTE, O CONVENIO OSPAR

El Convenio OSPAR, adoptado en 1992 y ratificado por España en 1994, tiene como principal objetivo, en relación con las sustancias peligrosas, evitar la contaminación de las áreas marinas del Atlántico nordeste mediante la reducción continua de las emisiones, con el fin de conseguir niveles basales para las sustancias de origen natural, y concentraciones próximas a cero, para aquellas sustancias de origen antropogénico.

Aborda la problemática del mercurio y de los compuestos de mercurio estableciendo medidas para reducir las emisiones (entre otras las de los hornos crematorios), los vertidos, la producción de artículos que contengan mercurio (como es el caso de algunas baterías) y gestionar los residuos.

El mercurio y los compuestos orgánicos de mercurio están incluidos en la lista de sustancias químicas prioritarias del Convenio. El primer documento base sobre el mercurio y sus derivados orgánicos se publicó en el 2000 incluyendo una actualización de la estrategia para la monitorización del mercurio (Publicación OSPAR 100/2000).

4.8. CONVENIO DE BARCELONA PARA LA PROTECCIÓN DEL MAR MEDITERRÁNEO CONTRA LA CONTAMINACIÓN

El Convenio de Barcelona, adoptado en 1976 (entró en vigor en 1978) dentro

del Plan de Acción del Mediterráneo (en el marco del Programa de Mares Regionales del PNUMA), establece medidas para reducir las emisiones de mercurio al mar y para mejorar la gestión de los residuos mediante la adopción de Planes Nacionales de Acción y Programas Estratégicos de Acción en los países de la ribera mediterránea.

El Programa cuenta con 6 Centros Regionales de Actividad (RACs) entre los que se encuentra el Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL), en Barcelona, encargado de la cooperación internacional con los países mediterráneos en materia de desarrollo e innovación del sector produc-

tivo y la sociedad civil a partir de modelos de consumo y producción más sostenibles.

En este sentido, el Protocolo de Fuentes Terrestres (aprobado en 1980) tiene por objetivo luchar contra la contaminación de la zona del Mar Mediterráneo causada por descargas de ríos, emisarios, canales u otros cursos de agua, o procedente de cualquier otra fuente o actividad situada en el territorio de los Estados Parte. Dentro de este Protocolo se ha desarrollado el Plan Regional de reducción de contaminación por mercurio (aprobado en febrero de 2012) que establece medidas contra las emisiones y producción de mercurio.

5. EL MERCURIO EN ESPAÑA

5. EL MERCURIO EN ESPAÑA

5.1. MINAS DE ALMADÉN

Las Minas de Almadén, explotadas de forma ininterrumpida desde la antigüedad hasta el año 2001, constituyen el mayor yacimiento geológico de mercurio del mundo en donde se ha desarrollado una metodología de trabajo pionera.

El mineral de mercurio explotado era el cinabrio (sulfuro de mercurio) con su característico color rojo bermellón, asociado frecuentemente a cuarcitas y a brechas volcánicas. Existieron zonas en las que se presentaba en forma de mercurio nativo, aunque era difícilmente recuperable por su movilidad.



Figura 10. Detalle de la antigua zona extractiva de Minas de Almadén.
Fuente: MAYASA

La explotación de estas minas, seguramente iniciada por los fenicios y cartagineses, no se empieza a documentar hasta la invasión romana, en el siglo IV antes de Cristo. Los escritos de Teofastro (332 años a. C.) y Vitrubio (siglo I a. C.) demuestran que ya eran conocidos los yacimientos de "Hydrargiros".

Plinio, a finales del siglo I d. C., habla de una antigua ciudad denominada Si-

sapo, situada seguramente próxima a la actual Almadén. Según el sabio romano se llevaba el mineral de cinabrio a Roma donde se transformaba en bermellón al objeto de usarlo como tinte, signo sin duda de prestigio social y económico.

Durante la ocupación musulmana indudablemente se continuó la explotación, época de la que proviene el término árabe de Almadén, "la mina". Tras la reconquista en el siglo XII y de nuevo en el siglo XIII pasaron a la Orden de Calatrava y ésta vio confirmada su posesión por posteriores donaciones. A partir del 1512 los beneficios adquiridos por la explotación minera pasaron a las arcas reales y en 1523 la Corona de Castilla se apropió definitivamente de los yacimientos.

En 1525 Carlos I al objeto de sufragar los gastos de su coronación como emperador las arrienda a la familia de banqueros alemanes Fugger. El arriendo se prolonga hasta 1645, año en que fue recuperada por la Real Hacienda. El descubrimiento del método de amalgamación o de beneficio de patio en 1555 supuso un antes y un después en la historia de las minas de Almadén. Este método que se difundió rápidamente en las entonces colonias americanas permitía explotar minerales de plata de baja ley a un coste bajo, lo que con el paso del tiempo convirtió al mercurio en un material insustituible para la obtención de plata.

A mediados del siglo XIX y debido a la independencia de las colonias americanas se cambia el tradicional procedimiento de venta de mercurio cerrándose acuerdos con la banca Rothschild,

que llega a conseguir el monopolio mundial del mercurio.

La Ley de 23 de diciembre de 1916 autorizó al Ministerio de Hacienda a establecer un Consejo de Administración que se encargaría de la organización industrial y administración de las Minas de Almadén. Dicho Consejo se estableció por Real Decreto de 25 de junio de 1918. Por Real Decreto de 15 de marzo de 1921 se encomendó a este organismo la explotación y administración de la mina de plomo de Arrayanes ubicada en Linares (Jaén) por lo que pasó a denominarse Consejo de Administración de Minas de Almadén y Arrayanes.

La Ley 38/1981, de 19 de octubre, ordena al Ministerio de Hacienda la transformación de este organismo autónomo en una Sociedad estatal de capital público Minas de Almadén y Arrayanes S.A. El Real Decreto 535/1982, de 26 de febrero, aprueba las bases del contrato que ha de regular las relaciones entre el Estado y la nueva sociedad.



Figura 11. Minas de Almadén en 1961
Fuente: PAISAJES ESPAÑOLES, SA

El 31 de marzo de 1982 se constituye la empresa Minas de Almadén y Arrayanes S.A (MAYASA). La empresa MAYASA, englobada en el grupo de empresas SEPI (Sociedad Estatal de Participaciones Industriales) del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, ha desarrollado desde su creación como actividad principal la explotación de los yacimientos de mercurio de Almadén. Debido al movimiento internacional frente a los problemas de salud y ambientales que genera el mercurio, el aumento de la normativa y un descenso de la actividad comercial, la extracción minera en Almadén cesó en 2001 y la actividad metalúrgica en 2003.

Mediante un acuerdo con la asociación europea de la industria cloroalcalina, Eurochlor, en los siguientes años se pasa a comercializar el mercurio metal excedente en este sector. Esta actividad finalizaría definitivamente antes del 15 de marzo de 2011, según lo establecido en el Reglamento (CE) n° 1102/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2008, relativo a la prohibición de la exportación de mercurio metálico y ciertos compuestos y mezclas de mercurio y al almacenamiento seguro de mercurio metálico.

En el momento del cierre de las instalaciones minero metalúrgicas se plantearon actuaciones de recuperación del patrimonio minero y de restauración ambiental, cuyo proyecto más importante fue el proyecto AZOGUE consistente en la restauración de la escombrera del Cerco de San Teodoro.

Al objeto de preservar el extenso patrimonio minero industrial que se generó tras dos milenios de explotación se realizó por parte de MAYASA la transformación de las instalaciones minero-metalúrgicas en un espacio sociocultural

de visita pública: El Parque Minero de Almadén. En él se ha puesto a disposición de la sociedad un conjunto patrimonial recuperado de elementos minero-industriales en torno al mercurio, que permite explicar la riqueza geológica de los yacimientos existentes, la evolución de los diversos procesos mineros y metalúrgicos a lo largo de su historia, la importancia del mercurio en el desarrollo histórico de la sociedad y el impacto de la explotación de Almadén a nivel mundial. Las Minas de Almadén se encuentran en las listas de Patrimonio Mundial de la UNESCO junto con Idrija, Eslovenia, con el nombre de: *Patrimonio del Mercurio. Almadén e Idria*.

5.2. CENTRO TECNOLÓGICO NACIONAL DE DESCONTAMINACIÓN DE MERCURIO

Teniendo en cuenta los riesgos que se derivan del mercurio, las obligaciones

derivadas de los instrumentos jurídicos internacionales y aprovechando la acumulada experiencia de los profesionales de MAYASA acumulada durante décadas en su manejo, se planteó la creación de un *CENTRO TECNOLÓGICO NACIONAL DE DESCONTAMINACIÓN DEL MERCURIO (CTNDM)* para promover el desarrollo tecnológico necesario para una gestión integral del mercurio metal y de sus residuos ofreciendo asesoramiento y apoyo técnico a administraciones públicas e instituciones.

Mediante resolución de 6 de febrero de 2009, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, se suscribió el Convenio de colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Minas de Almadén y Arrayanes, S.A. y la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha para la creación del Centro Tecnológico Nacional de Descontaminación del Mercurio.



Figura 12. Centro Tecnológico Nacional de Descontaminación del Mercurio

El Centro Tecnológico Nacional de Descontaminación del Mercurio, constituye un Centro de referencia en la investigación y desarrollo tecnológico de la problemática medioambiental del mercurio y de sus riesgos para la salud.

Está diseñado para el desarrollo de conocimiento sobre el problema del mercurio, intentando subsanarlo por medio de proyectos piloto, de investigación e innovación en ámbitos como la salud humana, la forma en que el mercurio se disemina o se acumula en el medio ambiente, su toxicidad y la sensibilidad de los ecosistemas.

Entre los objetivos principales del Centro Tecnológico está ofrecer apoyo científico y técnico a las empresas u organismos que así lo requieran en la atenuación o eliminación de riesgos relacionados con la presencia del mercurio en productos, emisiones, residuos, y participar en proyectos y estudios de ámbito internacional, como base de apoyo tanto a problemas concretos que puedan plantearse, como en la toma de decisiones internacionales sobre el mercurio.

España, debido a su historia ligada al mercurio y con una experiencia única en la gestión del mismo, ha participado activamente en las actividades paralelas desarrolladas durante las diferentes sesiones del Comité Intergubernamental de Negociación (INC) para elaborar el convenio internacional jurídicamente vinculante sobre mercurio, presentando avances que se detallan seguidamente y realizando exposiciones relacionadas con el trabajo del Centro Tecnológico Nacional de Descontaminación del Mercurio para la gestión de los residuos de mercurio metálico. El trabajo expuesto ha sido objeto de

gran interés por parte de las distintas delegaciones tanto gubernamentales como sectoriales y civiles que acudieron a la reunión del Comité, al presentar soluciones prácticas y asequibles a un problema real con el que prácticamente todos los países tendrán que enfrentarse.

5.2.1. Contenedor para el almacenamiento temporal de mercurio metálico

De entre los proyectos desarrollados por el Centro destaca la iniciativa MERSADE acrónimo que corresponde a las iniciales en inglés de MERCURY SAFETY DEPOSIT, Almacenamiento Seguro del Mercurio. Se trata de un proyecto desarrollado por MAYASA en cooperación con el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y la Universidad de Castilla-La Mancha, cofinanciado por MAYASA y la Comisión Europea mediante fondos del programa LIFE: PROYECTO MERSADE-LIFE (2006/2009) (LIFE06ENV/ES/REP/03).

El proyecto MERSADE surge para dar solución al problema planteado por los excedentes de mercurio en la UE tras la entrada en vigor del Reglamento (CE) n° 1102/2008, sobre prohibición de exportación y almacenamiento seguro de mercurio metálico.

El objetivo principal del proyecto era la creación de un depósito seguro y estable para el almacenamiento temporal de mercurio metal durante un periodo de 50 años. El prototipo construido en las instalaciones del almacén de mercurio de Las Cuevas tiene 50 t de capacidad y reúne los requisitos más exigentes:

- ❑ El acero del que está construido es estable frente a la acción del mercurio a lo largo del tiempo.
- ❑ Garantiza cero emisiones una vez puesto en carga.
- ❑ Su diseño logra minimizar las emisiones de mercurio durante las operaciones de puesta en carga del depósito.
- ❑ Dispone de barreras de seguridad pasivas, por diseño y por construcción.
- ❑ Tiene un sistema de vigilancia remota y permanente.

5.2.2. Estabilización/ Microencapsulación de mercurio

Los residuos de mercurio, bien sea mercurio metálico, residuos que contienen mercurio o residuos contaminados con mercurio, suponen un riesgo elevado para la salud humana y el medio ambiente por lo que deben ser gestionados de forma segura y ambientalmente racional.

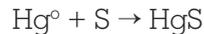
Debido a la problemática de este compuesto, todavía no se han determinado criterios para una gestión segura, existiendo diversas técnicas en estudio que podrían ofrecer garantías fiables para su eliminación definitiva.

En este sentido, MAYASA, a través del CTNDM, y el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) perteneciente al CSIC, han desarrollado una técnica de estabilización/microencapsulación de mercurio metálico y residuos que contienen mercurio mediante el uso de un polímero de azufre.

El procedimiento de estabilización/microencapsulación de mercurio comprende tres etapas:

1. Transformación del Hg en HgS (metacinabrio):

Se realiza mediante molienda en molino de bolas junto con la cantidad de azufre necesaria conforme a la reacción estequiométrica:



La molienda se lleva a cabo durante 1 hora rotando a 400 rpm.

2. Mezcla:

Consiste en la homogeneización del sulfuro de mercurio obtenido en la etapa anterior y azufre, en las cantidades necesarias para obtener un material de adecuada plasticidad. Una vez homogeneizada la mezcla se precalienta en estufa a 130 °C.

3. Fabricación de cemento polimérico:

La mezcla caliente se amasa hasta alcanzar 140 °C añadiendo el polímero de azufre. Se aumenta la temperatura de la mezcla hasta 145 °C y se mantiene durante 5 minutos. Finalmente, el cemento polimérico se



Figura 13. Contenedor MERSADE

conforma en moldes de dimensiones internas 16x4x4 cm, o en otras dimensiones en función de necesidades logísticas, y se enfrían al aire. Una vez que se alcanza la temperatura ambiente los cementos se desmoldan y se almacenan para su análisis posterior.

Propiedades del producto final:

- ❑ Inicialmente la técnica fue desarrollada añadiendo una mezcla de áridos (arena, grava y carbonato cálcico) junto al polímero de azufre y el

azufre elemental, dando como resultado un producto final con contenido en mercurio del 30% en peso.

Posteriormente la técnica ha sido mejorada y los áridos han sido eliminados, lo que permite obtener un producto con contenido en mercurio del 65% en peso, compacto e inerte, de alta resistencia mecánica a la rotura por compresión y elevada durabilidad cuyos lixiviados contienen mercurio en cantidades muy inferiores a las establecidas en la legislación vigente.

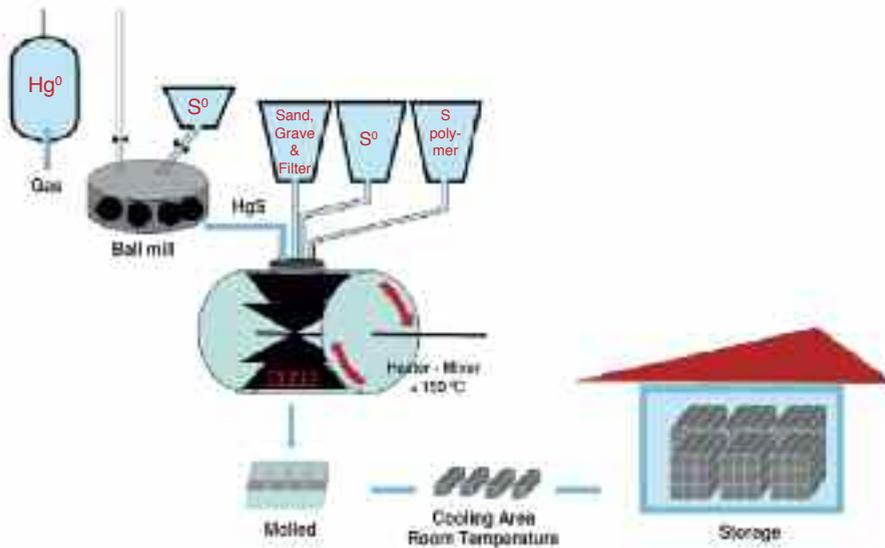


Figura 14. Proceso de estabilización de mercurio metálico

- ❑ Libera emisiones de mercurio de 100 a 150 veces inferiores a las del mineral cinabrio (Sulfuro de Mercurio).
- ❑ Producto seguro y manejable: menos exigencias logísticas de transporte y almacenamiento, y menor coste para su posterior gestión segura y ambientalmente racional.

Ventajas del proceso:

- ❑ Puede aplicarse a mercurio metálico de pureza incluso menor al 99,0%.
- ❑ Puede aplicarse a residuos que contienen mercurio sin necesidad de extraer y purificar el mercurio previamente.

- En el proceso el 100% del mercurio se transforma en material sólido inerte.
- Bajo consumo de energía: el proceso se desarrolla en condiciones atmosféricas normales.
- No consume agua, no genera efluentes ni residuos.
- Uso de materiales comunes, asequibles y baratos.

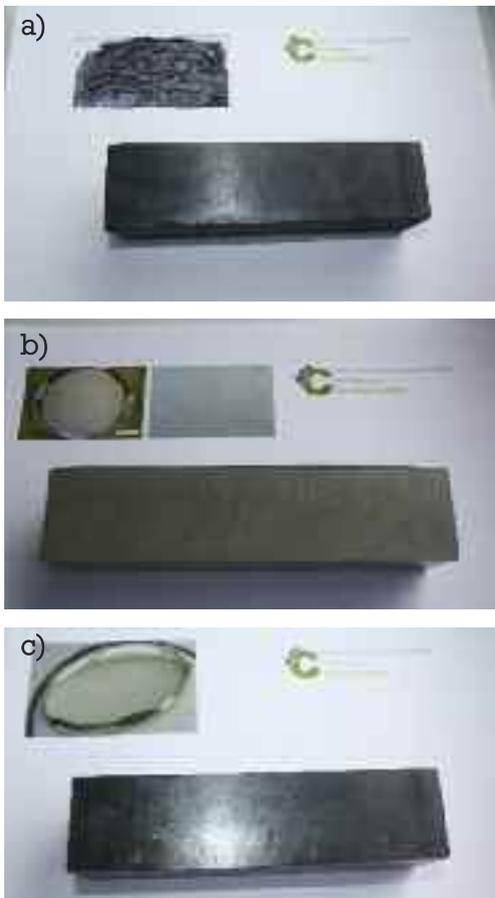


Figura 15. Producto resultante del proceso de estabilización/microencapsulación. A partir de residuos procedentes de la industria productora de Zinc (a). A partir de polvos fluorescentes (b). A partir de residuos procedentes de la industria productora de Aluminio (c)

Costes y gestión integral:

- La estabilización/microencapsulación tiene un coste de alrededor 2,000 €/t de mercurio metálico.
- El CTNDM tiene personal experto para llevar a cabo una gestión integral del mercurio, de forma ambientalmente racional y segura, (recogida, transporte, almacenamiento temporal y almacenamiento final).
- En Almadén existen instalaciones para el almacenamiento permanente seguro con absolutas garantías ambientales.

La técnica ha sido aplicada con éxito en mercurio metálico y en residuos que contienen mercurio procedente de:

- La industria productora de Zinc primario.
- Los polvos de fluorescentes procedentes de las plantas de reciclado de lámparas.

Otros sectores industriales que generan residuos que contienen mercurio, como la producción de Aluminio a partir de bauxita o la fabricación de amalgamas, pueden tratar dichos residuos mediante esta técnica.

En conclusión, los resultados obtenidos hasta el momento muestran que la técnica representa una alternativa eficaz para la gestión de este tipo de residuos ya que las características del producto final permiten un manejo más seguro y sencillo, y facilita un almacenamiento medioambientalmente adecuado que cumple con las condiciones de seguridad para su eliminación final.

5.2.3. Remediación

En el enclave minero de Almadén, se ha mantenido un compromiso medioambiental basado en minimizar el impacto de su actividad en el entorno, y para ello se han desarrollado trabajos de adecuación medioambiental en las antiguas instalaciones de producción de mercurio con la limpieza y descontaminación continuada de todas las instalaciones metalúrgicas, al tiempo que se ha mantenido un programa de Vigilancia Medioambiental de control del impacto de la actividad minero metalúrgica.

La restauración de la escombrera del Cerco de San Teodoro (conocido como proyecto AZOGUE) ha sido, sin duda, el proyecto ambiental más importante jamás acometido.

Esta escombrera ha recibido, durante siglos, estériles procedentes de las la-

bores mineras y escorias producidas en los procesos metalúrgicos, alcanzando un volumen cercano a los 3,5 millones de toneladas con una superficie de diez hectáreas.

El inicio de obras de restauración se produjo en octubre de 2005 y finalizó en mayo de 2008. El proyecto ha supuesto la remodelación de los taludes, mejorando las condiciones generales de estabilidad y el encapsulamiento in situ de la escombrera, mediante un paquete de geosintéticos que garantiza su impermeabilización (evitando así la generación de lixiviados y la dispersión y evaporación del mercurio). La instalación de una red de recogida, circulación y evacuación de aguas que evita los efectos erosivos y la implantación de una cubierta vegetal han permitido la integración paisajística de la escombrera.

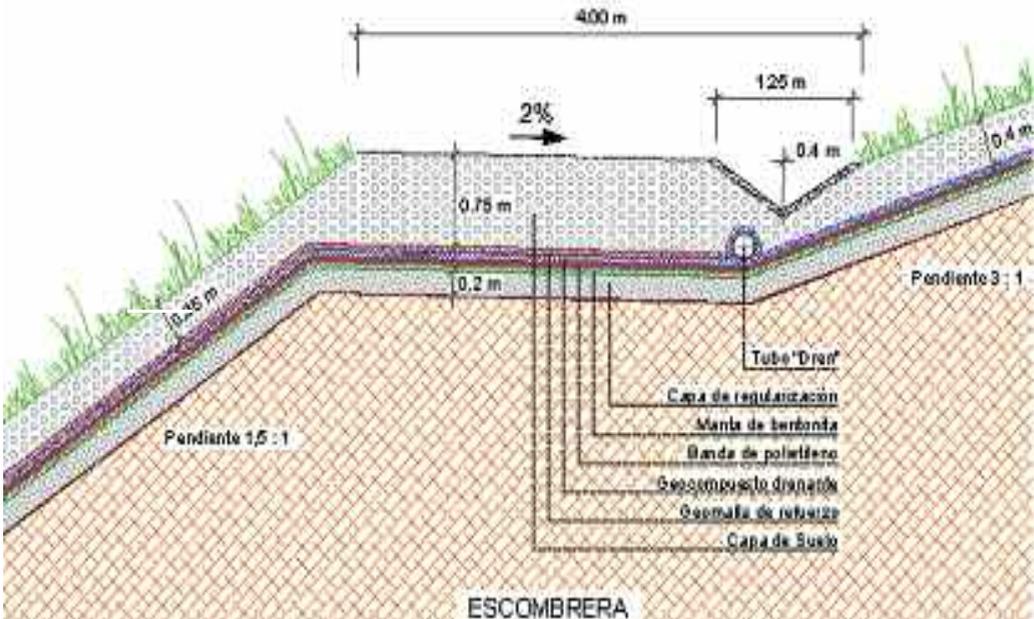


Figura 16. Esquema del talud de la escombrera



Figura 17. Escombrera del Cerco de San Teodoro: 2005 (izquierda) y 2008 (derecha)
Fuente: PAISAJES ESPAÑOLES, SA

5.2.4. Monitorización

Desde hace más de 15 años se han venido desarrollando planes de vigilancia ambiental de los efectos de la actividad productiva sobre el medioambiente.

La escombrera de la mina de Almadén aglutina una enorme cantidad de residuos históricos, sus contenidos en mercurio son en general muy elevados. La afección al entorno es seguramente imposible de distinguir de la debida a los fondos naturales, muy importantes en la zona. Con carácter previo a las actuaciones de restauración de la escombrera se realizaron estudios de caracterización ambiental del entorno inmediato del emplazamiento con la toma de muestras de aguas superficiales y subterráneas, sedimentos de arroyo y muestras superficiales y en profundidad de suelos. También se realizó una caracterización de los materiales depositados en la escombrera mediante la recopilación de la información histórica y con la toma de muestras con sondeos realizados al efecto.

La información obtenida permitió diseñar las actuaciones de restauración que se desarrollaron hasta el año 2008. Pa-

ralelamente a las labores y tras la finalización de las mismas, se desarrolló un plan de vigilancia ambiental que analiza diferentes parámetros, principalmente mercurio, en las aguas subterráneas (mediante sondeos perforados durante las labores de caracterización y manantiales y pozos accesibles de la zona) y en las superficiales (en balsas, arroyos y ríos). El seguimiento de estos parámetros a medio y largo plazo permitirá conocer si las medidas adoptadas fueron las apropiadas en el medio hídrico, pues la emisión al aire y la dispersión de polvo al entorno han sido completamente eliminadas.

La gran cantidad de datos generados aconsejaba un tratamiento adecuado, ágil, moderno y sobretodo accesible fácilmente desde cualquier lugar, que se ha conseguido mediante un Sistema de Información Geográfico (SIG) ubicado en una plataforma WEB (www.ctndm.es/proyectos/l.php).

El SIG es la herramienta que puede permitir extraer la información geográfica con una representación lógica y visualmente eficiente, a partir de la compilación de datos espaciales que pueden ser localizados en un mapa o

georreferenciados. En dicho sistema se han volcado todos los datos analíticos recogidos durante años en la zona y la variación de algunos de ellos a lo largo del tiempo, lo que nos permite valorar la idoneidad de las medidas de restauración ambiental ejecutadas en los últimos años. Las mediciones incorporadas son una monitorización de los niveles de mercurio en los compartimentos ambientales sensibles y constituyen en sí mismo una novedosa metodología de plan de vigilancia ambiental para las zonas en las que la presencia de mercurio así lo aconseje. La información obtenida permite obtener información directa aplicable al inventario nacional de suelos contaminados y puede ser un modelo para la creación de SIG regionales o nacionales que cubran superficies mayores aportando todos los datos disponibles sobre un determinado suelo.

El sistema incluye además topografía y ortofotos de antes y después de las actuaciones, además de todos los controles analíticos. Una vez creado el sistema se ha instalado en una plataforma SIG WEB (que permite consultar la información vía internet en una plataforma propia accesible a otros organismos). De esta forma, este instrumento desarrollado en colaboración con la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), permite transferir la navegación en los mapas, y la información ambiental incorporada desde un Sistema de Información Geográfica a Internet. Así la información se va actualizando con nuevas mediciones y estará disponible para su uso en la comunidad internacional y en general en foros de información sobre la problemática del mercurio, facilitando el entendimiento real de los efectos y riesgos del mercurio aportando las mejores soluciones a fin de minimizarlos.



Figura 18. SIG Web Azogue

ANEXO I

ANEXO I

Legislación relevante complementaria en el ámbito nacional y de la Unión Europea

Fase del ciclo de vida	Legislación Europea	Establece	Transposición a legislación nacional
USOS DEL MERCURIO	Directiva 2011/65/UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos	Valor límite de mercurio en aparatos eléctricos y electrónicos	
	Directiva 2009/48/CE sobre la seguridad de los juguetes	Valores límite de migración de mercurio de los juguetes o de sus componentes	Real Decreto 1205/2011 , de 26 de agosto, sobre la seguridad de los juguetes
	Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil	Prohíbe el uso de mercurio en materiales y componentes de vehículos	Real Decreto 1383/2002 sobre gestión de vehículos al final de su vida útil
	Reglamento 1223/2009 sobre los productos cosméticos	Concentración máxima de fenilmercurio y sus sales en los productos cosméticos	
	Reglamento (CE) n° 689/2008 relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos	Consentimiento fundamentado previo (PIC) que obliga a los exportadores de determinadas sustancias químicas, entre las que se encuentra el mercurio, a notificar a la Autoridad Nacional del país del importador su intención de exportar dicha sustancia química	
	Reglamento (CE) n° 1907/2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la agencia europea de sustancias y preparados químicos	Restricciones a la comercialización, fabricación y uso de mercurio y compuestos de mercurio. Prohíbe la comercialización de termómetros médicos y otros aparatos de medida.	

Fase del ciclo de vida	Legislación Europea	Establece	Transposición a legislación nacional
USOS DEL MERCURIO (Cont.)		Obliga a las empresas que fabrican e importan sustancias y preparados químicos a evaluar los riesgos derivados de su utilización y a adoptar las medidas necesarias para gestionar cualquier riesgo identificado	
CONTROL DE EMISIONES Y VERTIDOS DE MERCURIO	Directiva 2010/75/UE sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)	Valores límite de emisión de mercurio para determinados sectores de actividad Obligación de implantar mejores técnicas disponibles	En proceso de transposición
	Directiva 2008/105/CE relativa a normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas	Califica al mercurio como sustancia peligrosa prioritaria en política de aguas y fija la norma de calidad ambiental en aguas superficiales continentales y otras aguas superficiales	Real Decreto 60/2011 sobre normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas
	Directiva 2004/107/CE relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente	Métodos y criterios de evaluación de la concentración de mercurio en el aire ambiente y de los depósitos de mercurio, así como garantizar la información sobre la concentración y depósitos de mercurio	Real Decreto 102/2011 relativo a la mejora de la calidad del aire
	Reglamento (CE) n° 166/2006 relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes	Obligación de comunicar el mercurio emitido por las actividades que determina el propio reglamento si se supera el umbral de emisiones fijado para la atmósfera, agua y suelo	

Fase del ciclo de vida	Legislación Europea	Establece	Transposición a legislación nacional
GESTIÓN DE RESIDUOS	Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores	Prohíbe la puesta en el mercado de pilas y acumuladores con un contenido determinado de mercurio y promueve un alto nivel de recogida y reciclado de los mismos	Real Decreto 106/2008 sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos
	Directiva 2006/21/CE sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas	Medidas, procedimientos para prevenir o reducir en la medida de lo posible los efectos adversos sobre el medio ambiente y los riesgos para la salud humana derivados de la gestión de los residuos de las industrias extractivas.	Real Decreto 975/2009 sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras
	Directiva 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	Obliga a segregar y extraer de los aparatos eléctricos y electrónicos los componentes que contengan mercurio	Real Decreto 208/2005 sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos
	Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos	Requisitos técnicos estrictos para los vertidos con el objeto de prevenir o reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana	Real Decreto 1481/2001 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero
	Reglamento (CE) N° 149/2008 por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 396/2005 mediante el establecimiento de los anexos II, III y IV	Contenido máximo de residuos de mercurio (y otras sustancias) en productos hortofrutícolas y otros	
	Reglamento (CE) N° 1881/2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios	Contenido máximo de residuos de mercurio (y otras sustancias) en productos alimenticios	

Fase del ciclo de vida	Legislación Europea	Establece	Transposición a legislación nacional
GESTIÓN DE RESIDUOS (Cont.)	Reglamento (CE) N° 1013/2006 relativo a los traslados de residuos	Integra en la legislación comunitaria las disposiciones del Convenio de Basilea y la revisión de la decisión sobre el control de los movimientos transfronterizos de residuos con destino a operaciones de valorización adoptada por la OCDE en el año 2001	
	Decisión del Consejo de 19 de diciembre de 2002 (2003/33/CE) por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos	Valores límite de lixiviación del mercurio en los residuos que se vayan a depositar en los distintos tipos de vertederos	

Legislación Autonómica

Comunidad Autónoma	Legislación Autonómica	Establece
Andalucía	Decreto 14/1996 por el que se aprueba el reglamento de la calidad de las aguas litorales	Límites de contenido de sustancias peligrosas, entre las que se encuentra el mercurio, en vertidos al alcantarillado.
Aragón	Orden de 5 de mayo de 2008 sobre establecimiento de los niveles genéricos de referencia para la protección de la salud humana de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad Autónoma de Aragón	Niveles genéricos de referencia para protección de la salud humana de metales pesados y otros elementos traza en suelos
Cataluña	Decreto 130/2003 por el que se aprueba el Reglamento de los servicios públicos de saneamiento	Valores límites de vertido de sustancias peligrosas, entre las que se encuentra el mercurio, del efluente de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales
	Decreto 322/1987 sobre la protección del medio ambiente atmosférico	Considera a los metales pesados (entre los que se encuentra el mercurio) como unas de las sustancias contaminantes más importantes.
Galicia	Ley 8/2002 de protección del ambiente atmosférico	Considera al mercurio como uno de los contaminantes a vigilar para asegurar la protección y la evaluación de la calidad del aire
Madrid	Decreto 326/1999 por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados de la Comunidad de Madrid	Señala que un suelo contaminado será aquél en el que se haya producido una movilización de contaminantes a las aguas, suelo o atmósfera, alterando las características físico-químicas de fondo, y considera al mercurio como uno de estos contaminantes
	Ley 10/93 sobre vertidos líquidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento	El valor límite de vertido de determinadas sustancias peligrosas, entre las que se encuentra el mercurio, en el efluente de las EDAR

Comunidad Autónoma	Legislación Autonómica	Establece
Murcia	Decreto 16/1999 sobre vertidos de aguas residuales industriales al alcantarillado	Valor límite de vertido de determinadas sustancias peligrosas, entre las que se encuentra el mercurio, al alcantarillado
Navarra	Decreto Foral 12/2006 sobre condiciones técnicas aplicables a la implantación y funcionamiento de las actividades susceptibles de realizar vertidos de aguas a colectores públicos de saneamiento	Valores límite específicos de contaminantes en el vertido a colectores públicos. Entre los contaminantes se encuentra el mercurio.
	Decreto Foral 6/2002 sobre las condiciones aplicables a la implantación y funcionamiento de las actividades susceptibles de emitir contaminantes a la atmósfera	Niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera para las principales actividades industriales potencialmente contaminadoras de la atmósfera. Entre estas sustancias contaminantes se encuentra el mercurio
La Rioja	Ley 5/2000 de saneamiento y depuración de aguas residuales de la Rioja	Valores límite de emisión de vertidos a la red de alcantarillado, colectores e instalaciones de saneamiento para determinadas sustancias entre las que se encuentra el mercurio
País Vasco	Ley 1/2005 para la prevención y corrección de la contaminación de suelos	Valor límite de una sustancia por encima del cual se considera que el suelo está alterado y existe la posibilidad de que esté contaminado. Entre las sustancias se encuentra el mercurio

REFERENCIAS

- AMAP (2008). Technical Background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment. Arctic Monitoring and Assessment Programme/UNEP Chemicals Branch.
- AMAP (2011). AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway.
- BIO Intelligence Service for the European Commission (DG ENV) (2010). Review of the Community Strategy Concerning Mercury. Final Report.
- BiPRO for the European Commission (DG ENV) (2010). Requirements for facilities and acceptance criteria for the disposal of metallic mercury. Final report.
- Cairo, G; Dorronsoro, M; Fernández, JC y González, L. (2000). Informe de Salud Pública. Gobierno Vasco-Eusko Jaularitza.
- Comisión Europea, Dirección General de Medio Ambiente (2005). Annex to the Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on Community Strategy Concerning Mercury; Extended impact assessment. COM(2005)20 final.
- Comisión Europea, Dirección General de Medio Ambiente (2005). Estrategia comunitaria sobre el mercurio. Bruselas, 28.01.2005. COM(2005) 20 final.
- Comisión Europea, Dirección General de Sanidad y Consumidores (2008). Information note: Methyl mercury in fish and fishery products. Bruselas AB D(2008) D/530286.
- CONCORDE for the European Commission (DG ENV) (2006). Mercury flows and safe storage of surplus mercury. Brussels.
- Conference Of The Parties To The Basel Convention On The Control Of Transboundary Movements Of Hazardous Wastes And Their Disposal, Tenth meeting (2011). Technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of elemental mercury and wastes containing or contaminated with mercury. UNEP/CHW.10/6/Add.2/Rev.1. Cartagena, Colombia.
- Cortinas de Nava, C.; Ruiz Ruiz, F; Cris­tán Frías, A. (1996). Lo que usted debe saber sobre el mercurio y su situación en América de Norte, Serie Mercurio No. 1. México. D.F.: INE/SEMARNAP.
- EFSA (2004). Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain [CONTAM] related to mercury and methylmercury in food.
- EFSA (2005). EFSA provides advice on the safety and nutritional contribution of wild and farmed fish. Press Room.
- Español Cano, S. (2001). Toxicología del mercurio. Actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. Servicio Prevención Riesgos Laborales, Área Salud Laboral, Minas de Almadén y Arrayanes S.A.

- EURO CHLOR (2010). Chlor-alkali industry's voluntary agreement sufficient to implement mercury cell technology phase out by 2020.
- FEIQUE (2011). Informe de Responsabilidad Social del Sector Químico Español.
- 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.
- Gaona Martínez, X. Universidad Autónoma de Barcelona, Departament de Química, Unidad de Química Analítica (2004). El mercurio como contaminante global: Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente.
- Harada, M. (1995). Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. *CRC Critical Reviews in Toxicology* 1995; 25: 1-24.
- IPCS (2005). Ficha internacional de seguridad química: el mercurio ICSC: 0056
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) (2003). Draft risk assessment monograph of methylmercury (PCS/FA 03.12) of the sixty-first meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). November 2003.
- López, F.A.; Alguacil, F. J.; Roman, C.P.; Tayibi, H.; Padilla I. y López-Delgado, A. (2008). "Disposal of elemental mercury via sulphur reaction by milling". International Conference Hazardous Waste Management 2008. CSIC. Madrid, España.
- López, F.A.; Román, C.P.; Padilla, I.; López-Delgado A.; and Alguacil, F.J. (2009). "The application of sulfur concrete to the stabilization of Hg-contaminated soil". 1st Spanish National Conference on Advances in Materials Recycling and Eco-Energy. Madrid, 12-13 November 2009. CENIM-CSIC.
- MAGRAMA (2011). "Spanish technological developments for an environmentally sound management of mercury". Ponencia presentada en el INC3. Nairobi, Kenya. Del 31 de octubre al 4 de noviembre de 2011.
- MAGRAMA (2012). "EU Legislation on Export/Storage/Disposal of Mercury". Ponencia presentada durante el "Taller sobre la problemática de la gestión del mercurio en la región de América Latina y Caribe". Brasilia, Brasil. 21 y 22 de mayo de 2012.
- MAGRAMA (2012). Spanish technology for the stabilization and micro-encapsulation of metallic mercury and certain mercury containing wastes. Best Available Techniques Information System, Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS).
- 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 re-

- gional mercury cycles: Sources, fluxes and mass balances. *NATO ASI Series*, 2. Environment -Vol. 21. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- MAYASA (2006). MERSADE - Design, construction and validation of a prototype installation for a safe deposit of surplus mercury from the European industry. LIFE06 PREP/E/000003.
- MAYASA (2010). Mersade Layman's report.
- MAYASA (2011). Buscando soluciones para la gestión responsable del mercurio metálico.
- Mozzaffarian, D. and Rimm, EB. (2006). Fish intake, contaminants, and human health: evaluating the risks and the benefits. *JAMA*. 2006; 296(8):1885-99.
- Muñoz, C.; Dorado, M.T.; Gómez-Coedo, A.; de Damborenea, J.J.; Conde, A. "Corrosión en depósitos de almacenamiento de mercurio". CSIC. Madrid, España.
- NRC (2000)., Committee on the toxicological effects of methylmercury, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission of Life Sciences, National Research Council. "Toxicological effects of methylmercury". National Academy Press, Washington DC., USA.
- OEPM (2009). Solicitud de Patente: Procedimiento de estabilización de mercurio líquido mediante cemento polimérico de azufre, vía sulfuro de mercurio. N° de publicación: 2355001. Madrid, España.
- Pirrone, N., Costa, P., Pacyna, J.M., Ferrara, R. (2001). Mercury emissions to the atmosphere from natural and anthropogenic sources in the Mediterranean region. *Atmospheric Environment*. 2001, Vol. 35, p. 2997-3006.
- 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.
- PNUMA (2010). Estudio sobre las fuentes y emisiones de mercurio y análisis del costo y la eficacia de las medidas de control. PNUMA-Productos Químicos. Ginebra, Suiza.
- PNUMA Consejo de Administración 25 (2009). Informe sobre las deliberaciones del Consejo de Administración/Foro Ambiental Mundial a Nivel Ministerial en su 25° período de sesiones. PNUMA/GC/25/17. Nairobi, Kenya.
- PNUMA Subdivisión de Productos Químicos (2002). Evaluación mundial sobre el mercurio. PNUMA-Productos Químicos. Ginebra, Suiza.
- PNUMA Subdivisión de Productos Químicos (2006). Summary on supply, trade and demand information on mercury, Requested by UNEP Governing Council Decision 23/9 IV. Geneva, Switzerland.
- PNUMA Subdivisión de Productos Químicos (2008). The Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport.

PNUMA-Productos Químicos, Geneva, Switzerland, .

PNUMA Subdivisión de Productos Químicos (2010). "Management of Mercury and mercury containing waste". Final project report.

UNEP (1995). Common Measures for the control of pollution adopted by the Contracting Parties to the Convention for the Protection of the Mediterranean Sea against Pollution. MAP Technical Reports Series No. 95. Athens, Greece.

UNEP (2011). Reducing mercury use in Artisanal and small-scale Gold mining. A practical guide.

US EPA (1997): Mercury study report to congress. US EPA, Dec. 1997.

WHO (1991). Environment Health Criteria 118: Inorganic mercury. Geneva, Switzerland.

WHO (2003). Concise International Chemical Assessment Document 50: Elemental mercury and inorganic mercury compounds: human health aspects. Geneva, Switzerland.

WHO/IPCS (1990). Methylmercury. Environmental Health Criteria No 101. Geneva, Switzerland.

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.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS:

<http://eur-lex.europa.eu/>
<http://www.atsdr.cdc.gov/>
<http://www.basel.int/>
<http://www.boe.es/>
<http://www.chem.unep.ch/>
<http://www.cprac.org/es>
<http://www.ctndm.es/>
<http://www.dicat.csic.es/>
<http://www.ecologistasenaccion.org/>
<http://www.istas.net/risctox/>
<http://www.ospar.org/>
<http://www.saicm.org/>
<http://www.unece.org/>
<http://www.unep.org/>
<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/>
<http://www.unepmap.org/>