

# **UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

## **FACULTAD DE MEDICINA**



**GRADO EN NUTRICIÓN HUMANA Y DIETÉTICA**  
**CURSO ACADÉMICO 2014-2015**

## **REVISIÓN SISTEMÁTICA DEL MERCURIO**

**AUTORA: LETICIA LÓPEZ ROJO**  
**TUTOR: ANTONIO DUEÑAS LAITA**

**VALLADOLID (JUNIO 2015)**

# **REVISIÓN SISTEMÁTICA DEL MERCURIO**

## **RESUMEN**

El mercurio es un metal muy tóxico cuyos efectos en la salud se han ido comprobando a lo largo del siglo XX.

Como consecuencia de la contaminación medio ambiental, un poco por procesos naturales y mucho y sobre todo por la industrialización, todos estamos expuestos a múltiples dosis de mercurio que se van acumulando poco a poco en nuestro organismo, principalmente en el cerebro, el hígado, el bazo y los riñones.

Al propagarse el mercurio en sus diferentes estados por la atmósfera, las aguas y los suelos, nuestra alimentación (como la pesca) también se contamina y, a través de ella, llega a nosotros.

De igual modo en la fabricación de múltiples productos, que manipulamos a diario, se han empleado algunos derivados del mercurio, lo que hace que estemos en contacto directo con ellos. Al mismo tiempo hemos de considerar el tema del reciclado de dichos productos.

Al tratarse de un problema muy grave y que afecta a la población mundial, las Instituciones Nacionales e Internacionales han ido tomando conciencia y efectuando posturas más o menos efectivas, como dictar sistemas de control que obligan a las industrias a fabricar de forma más limpia y fijar unos niveles máximos de mercurio, que han de cumplirse en unos plazos, para garantizarnos una alimentación y una vida más saludable.

## **PALABRAS CLAVE**

Mercurio, Emisiones, Intoxicación, Efectos, Medidas de Control.

## INDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA</b>	
	I.1 Qué es el Mercurio .....	1
	I.2 Historia del Mercurio .....	3
	I.3 El Mercurio en la naturaleza .....	5
<b>II.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	7
<b>III.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	7
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	
	IV.1 Para qué se usa el Mercurio .....	8
	IV.2 Fuentes antropogénicas .....	9
	IV.3 Efectos del Mercurio en la Salud .....	11
	IV.4 Toxicidad del Mercurio .....	12
	V.5 Toxicocinética .....	14
	IV.6 Bioindicadores mercuriales de exposición .....	17
	IV.7 Interacciones Bioquímicas del Mercurio .....	18
	IV.8 Acciones a nivel global para reducir la cantidad de Mercurio en circulación .....	19
	IV.9 Evaluación Mundial sobre el Mercurio .....	22
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	
	V.1 Emisiones de Vapores de Mercurio, sistemas de Limpieza y Recuperación .....	24
	V.2 ¿Es seguro comer pescado y marisco? .....	26
	V.3 Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA .....	27
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	28
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	30
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b>	
	Anexo 1. Propiedades Físicas del Mercurio .....	35
	Anexo 2. Las Minas de Almadén .....	36
	Anexo 3. Catástrofe en Minamata .....	39
	Anexo 4. Clasificación de los pescados en función de sus concentraciones de Mercurio .....	40
	Anexo 5. Iniciativas Internacionales .....	41
	Anexo 6. Legislación Relevante Complementaria en el Ámbito Nacional de la Unión Europea .....	42
	Anexo 7. Legislación Autonómica .....	46

## I. INTRODUCCIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA:

### I.1 Qué es el Mercurio:

Es un elemento químico, (Hg), número atómico 80 (se ubica en la familia de los metales de transición de la tabla periódica) y peso atómico 200.59. Conduce muy mal el calor, sin embargo es un buen conductor de la electricidad. A temperatura ambiente es líquido color plateado con un punto de fusión entre el intervalo [-38.4°C y -37,47°F), a presión atmosférica ebulle a 357°C, se congela a -39°C. Tiene una alta tensión superficial, por lo que cuando es liberado al medio ambiente se forman pequeñas gotas esféricas y compactas. Es insoluble en agua y soluble en ácido nítrico.

Se trata de un metal noble, pesado<sup>1</sup>, soluble sólo en soluciones oxidantes. El inconveniente es que todos sus compuestos son muy tóxicos.

Puede combinarse con carbono, dando lugar a compuestos orgánicos (dimetilmercurio, fenilmercurio, etilmercurio y metilmercurio)<sup>2</sup>.

El mercurio es muy persistente, por lo que se puede transformar en su forma más tóxica, metilmercurio, con el simple contacto con el medio ambiente. Forma aleaciones con muchos otros metales como el oro o plata produciendo amalgamas.

PROPIEDAD	VALOR
Peso atómico	200.59
Número atómico	80
Punto de fusión	-39°C
Punto de ebullición	357°C
Presión de vapor a 25°C	2x10 <sup>3</sup> mmHg
Solubilidad en agua a 25°C	20-30mcg/L
Número de registro CAS	7439-97-6
Masa (densidad)	13.5336gm/cc

**Tabla 1:** Propiedades del Mercurio<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.[Internet].Madrid: Gobierno de España; 2006. Mercurio.

<sup>2</sup> PNUMA, OMS, FAO. Evaluación Mundial sobre el Mercurio. [Internet]. Ginebra, Suiza; Ed. PNUMA. 2002; pp. 31-32.

<sup>3</sup> Para mayor precisión ver **Anexo 1:** Propiedades físicas

El mercurio se puede encontrar en tres diferentes estados de oxidación:

- Estado de oxidación 0 o elemental ( $\text{Hg}^0$ ), cuando se encuentra en su forma líquida plateada. Es volátil y puede liberar gas conocido como “Vapor de mercurio”.
- Primer estado de oxidación. Pierde un electrón transformándose en ión monovalente ( $\text{Hg}^+$ ) “mercurio mercurioso”, encontrado como cloruro mercurioso originando la fórmula química  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ .
- Segundo estado de oxidación. Pierde dos electrones transformándose en ión bivalente ( $\text{Hg}^{++}$ ), conocido como “mercurio mercúrico”.

Tiene un importante papel en la toxicología la mayoría de las formas de mercurio. Tanto el mercurio mercúrico como el mercurio mercurioso forman diversos compuestos orgánicos e inorgánicos.

Compuestos inorgánicos	
Sulfuro	$\text{HgS}$ (Cinabrio)
Cloruros	$\text{HgCl}_2$ ; $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$
Oxidos	$\text{HgO}$ ; $\text{Hg}_2\text{O}$
Nitratos	$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$
Compuestos Orgánicos	
Cloruro de metilmercurio	$\text{H}_3\text{C-HgCl}$
Dimetilmercurio	$\text{H}_3\text{C-Hg-CH}_3$
Dietilmercurio	$\text{H}_3\text{C-CH}_2\text{-Hg-CH}_2\text{-CH}_3$
Fenilmercurio	$\text{H}_5\text{C}_6\text{-Hg}^+$

**Tabla 2:** Compuestos del mercurio<sup>4</sup>.

Otra clase de derivados de mercurio son los compuestos organometálicos, los cuales se caracterizan por la unión del mercurio con uno o dos átomos de carbono por enlace covalente. A menudo se usa la expresión “metilmercurio” para designar los compuestos monometilmercuriales. Muchos no tienen identidad exacta conocida, excepto los que contienen el catión  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ .

<sup>4</sup> Lilian Ferreira, Rafael Durán y Miguel Alfonso. El Mercurio como contaminante ambiental y agente neurotóxico. Vigo: Ed. Universidad de Vigo; 2010; p. 4-5.

## I.2. Historia del Mercurio:

La mayoría de los historiadores dicen que el nombre del mercurio procede de la Metalurgia y la Astrología, ya que a cada metal se le asignaba un cuerpo celeste: el oro al sol, la plata a la Luna, cobre a Venus, Hierro a Marte, estaño a Júpiter, plomo a Saturno y mercurio al planeta del mismo nombre. Posiblemente se le asignó el nombre mercurio al planeta por el hecho de que el planeta Mercurio está más cerca del sol con mayor velocidad que cualquier otro planeta, además de su intenso brillo, lo que nos recuerda el que tiene el mercurio líquido.

Su símbolo Hg deriva del griego (hydros = agua; argyros=plata)<sup>5</sup> que significa plata líquida, porque se trata del único elemento que en condiciones normales se encuentra en estado líquido.

Se ha utilizado por casi todas las culturas, se encontró mercurio en túmulos egipcios del 1500 a.C, mucho antes de la era cristiana, los chinos ya usaban el cinabrio. Aristóteles recomendaba ese elemento diluido con saliva para tratar determinadas enfermedades de la piel. Posteriormente los romanos conocían el arte de la transformación del sulfuro a metal. Alrededor de 500 a. C., por la zona del Mediterráneo ya se usaba el mercurio para la extracción de metales a través de la amalgamación.

Lo obtenían en unos hornos llamados “XABECAS” y de los almacenes del azogue, de esta manera conseguían grandes cantidades de mercurio y lo enviaban a muchos países, ellos mismos lo usaban en decoración y en procesos químicos.

Se ingería el Mercurio pensando que no dañaría al cuerpo humano convencidos de que el mismo cuerpo lo eliminaría por el sudor y la orina, sin embargo en la Edad Media comenzaron a identificarse efectos adversos en el ser humano, pero aun así otros mercurialistas lo recomendaban, ya sea ingerido, inhalado o en forma de ungüentos. Como consecuencia el enfermo empeoraba y tenía mayor sensibilidad de padecer otras enfermedades y provocar la muerte.

Esta época fue en la que el mercurio tuvo gran trascendencia como metal, se comenzó a usar la dualidad mercurio-azufre como principio formativo de metales y a partir del siglo XVI se añadió la sal constituyendo la Tria Prima que sustituía a los cuatro elementos aristotélicos: fuego, aire, tierra y agua.

En la India se utilizaba como afrodisiaco y los árabes como parte de ciertos medicamentos. Su frecuente uso en el tratamiento de enfermedades (reumatismo,

---

<sup>5</sup> Seminario Internacional sobre Clínica del Mercurio. Memorias. Academia Nacional de Medicina.[Internet]. Bogotá, Colombia: Editorial Kimpres; 2006; pp. 33-59.

disentería, cólicos y enfermedades de la piel) dio lugar a síntomas neurológicos detallados en el siglo XVIII.

Sin embargo sus efectos tóxicos fueron descritos mucho antes, en 1524 Ulrich Ellenberg publicó en Alemania un trabajo sobre este tema, en 1557 Jean Fernel en Francia hizo una descripción sobre una intoxicación ocupacional por mercurio y en 1665 Pope describió el hidrargirismo o mercurialismo.

En 1778 el Dr. José Parés, que atendía el Real Hospital de Almadén, elaboró un estudio minucioso de cuantas enfermedades padecían los mineros por causa de su exposición al mercurio. Se lo había encargado la Corona. Pero como en el tratamiento a los enfermos incluía, no sólo medicación, sino también cambios en el sistema laboral e incluso en el de producción, ni se lo publicaron, ni le devolvieron el manuscrito<sup>6</sup>.

En 1973 Hunter relata un incendio en una mina de plata en Austria que tuvo lugar en 1804, en el que 900 personas desarrollaron temblores y otros trastornos neurológicos por un escape de vapor de mercurio.

Antes de 1914 la mayor parte de las intoxicaciones por mercurio se debía a la absorción de sales inorgánicas ya que se utilizaban como fungicidas.

En la década de 1940, Hunter y Russel describieron lesiones en el cerebro de trabajadores de una industria productora de fungicidas, a este tipo de intoxicación se llamó “Síndrome de Hunter-Russel”.

Durante la década de 1950 miles de personas se alimentaban con pescado y marisco de la Bahía de Minamata, los cuales desarrollaron síntomas nerviosos de intoxicación. Esta enfermedad fue conocida como “Enfermedad de Minamata”.

En 1972 el mercurio se le consideraba una forma de protegerse del “mal de ojo”.

En 1988 se utilizó para el tratamiento de la sífilis y para tratar enfermedades de los ojos y la sangre pero únicamente diluido con vino o leche, ya que más tarde se pensó que podía ser peligroso consumirlo al ser bastante pesado.

A lo largo del siglo XX, uno de los objetivos de la legislación fue el controlar y regular su uso.

La urgencia de abordar este problema en nuestro país se confirma con los resultados de la Evaluación Mundial sobre el Mercurio, realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Suiza, en Diciembre de 2002).

---

<sup>6</sup> Alfredo Menéndez Navarro. Catástrofe morbosa de las minas mercuriales de la villa de Almadén del Azogue (1778) de José Parés y Franqués. Cuenca: Ed. Universidad de Castilla-La Mancha; 1998. Para más información, ver **Anexo 2**: Las minas de Almadén.

### I.3. El Mercurio en la naturaleza

Se calcula que aproximadamente un tercio del mercurio que se encuentra en el medio ambiente procede de fuentes naturales, mientras que dos tercios se liberan como resultado de las actividades industriales y humanas.

El mercurio se encuentra principalmente como Cinabrio Rojo y como Metacinabrio negro. Ambos pueden encontrarse en cantidades considerables en yacimientos de otros sulfuros (Piritas, Rejalgar, Estilbina y otros...) En la naturaleza existen emisiones naturales de mercurio, por ejemplo, a través de los volcanes, a través de la combustión del carbón... se pueden encontrar en forma de compuestos inorgánicos o sales de mercurio como el sulfuro de mercurio, óxido de mercurio o cloruro de mercurio.

#### **a) Aire:**

Varía mucho de unos sitios a otros en función que sea rural o urbano, normalmente no supera los 50 nanogramos/m<sup>3</sup>.

El mercurio de la atmósfera se encuentra principalmente en estado gaseoso (Hg<sup>0</sup> mercurio elemental) cuya resistencia es de seis meses a dos años, porque no se elimina de forma eficiente en las precipitaciones al no tener alta solubilidad en agua.

El mercurio puede tener interacciones de naturaleza química, física o fotoquímica, facilitando su transferencia a los suelos y aguas.

Si se supone que una persona tiene una ventilación media diaria de 20m<sup>3</sup> y si se retiene un 80% del mercurio inhalado, la ingesta sería de 1 mcg/día. Hay autores que opinan que el umbral de toxicidad es de 50 mcg/día.

En España, concretamente en el casco urbano durante épocas de producción, la concentración media es de 700 nanogramos/m<sup>3</sup>, que equivale a una ingesta aproximada de 14 mcg/día de mercurio, sin embargo durante épocas sin producción hay una concentración media de 350 nanogramos/m<sup>3</sup>, lo que equivale a unos 7 mcg/día de ingesta diaria de mercurio.



## **b) Agua:**

El mercurio se encuentra tanto en la fase líquida (agua) como en la fase sólida (sedimentos), esto dependerá de la solubilidad de los compuestos de mercurio y de las condiciones químicas del medio (pH, temperatura, especies químicas...).

Se trata de una contaminación bastante importante, ya que es donde encontramos gran parte de nuestra alimentación, por eso hay muchos estudios que determinan la concentración de mercurio en peces<sup>7</sup>, ya sean marinos como de aguas dulces, pescado blanco o azul.

La Concentración media se sitúa en torno a 50 nanogramos/litro, sin embargo las zonas que se encuentran cerca de minas de mercurio se hayan valores entre 400 y 700 nanogramos /litro.

Si suponemos que el mercurio no se elimina en la purificación de agua, llegaríamos a ingerir unos 1.4mcg/día (en caso de que se ingiera una cantidad de 2L agua). Por esto mismo la OMS permite ingestiones de hasta 2 mcg/día como límite recomendado.

## **c) Tierra:**

Algunos estudios afirman que el mercurio puede reducir la actividad microbiológica de los suelos<sup>8</sup>, por lo que se disminuye el procesamiento del carbono además de otros nutrientes, afectando negativamente a las condiciones de vida de los árboles y demás organismos del suelo<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> FAO Y OMS. Evaluación de diversos aditivos alimentarios y de los contaminantes de Mercurio, Plomo y Cadmio. Informe nº 51. Serie de informes técnicos nº 505. Roma 1973; pp. 11-17.

<sup>8</sup> Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva, M.Milagros Vega et al. Buscando soluciones para la gestión medioambiental responsable del mercurio. [Internet]. Madrid; MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente); 2012.

OMS: Organización Mundial de la Salud [Internet]. Ginebra: OMS; c 2013. El Mercurio y la Salud; pp14-15.

<sup>9</sup> PNUMA, OMS, FAO. Evaluación Mundial sobre el Mercurio. Idem; pp. 118-121.

## II. OBJETIVOS:

Dar a conocer las características de este metal, el grado de toxicidad que produce y que afecta no sólo al que tiene un contacto directo con él, sino a toda la población a través de las emisiones.

Presentar las medidas que se han llevado a cabo a través de los organismos internacionales.

Y reflexionar sobre si esas medidas son suficientes para garantizarnos la solución del problema a nivel mundial.

## III. MATERIAL Y MÉTODOS:

Se trata de una revisión sistemática, es decir un estudio científico integrativo, observacional, selectivo, crítico, retrospectivo, secundario (porque su población de estudio está formada por los propios estudios primarios).

Para ello es necesario distinguir entre estos tres conceptos:

<b>Revisión</b>	“el término general para todo intento que sintetice los resultados y las conclusiones de dos o más publicaciones relacionadas con un tema dado”
<b>Sistemática</b>	“cuando una revisión se esfuerza en la identificación exhaustiva, a través de toda la literatura de un tema dado, valorando su calidad y sintetizando sus resultados
<b>Metaanálisis</b>	“cuando una revisión sistemática incorpora una estrategia específica para reunir los resultados de varios estudios en una sola estimación”.

**Tabla 3.** Diferencia entre los términos “Revisión”, “Sistemática” y “Metaanálisis” <sup>10</sup>

Para llevar a cabo la Revisión Sistemática he seguido los siguientes pasos:

- Formulación de las preguntas:
  - ¿Qué es el mercurio?
  - ¿Es tóxico?
  - ¿Para qué se utiliza?
  - ¿Afecta a la cadena alimentaria?
  - ¿Cómo afecta a nuestro cuerpo si nos exponemos al mercurio?
  - ¿Qué medidas se toman para regularlo?

<sup>10</sup> Sackett, D. y otros. Clinical Epidemiology: A basic science for clinical medicine 2nd ed. Little, Brown & Company; 1991.

- Especificación de los criterios de inclusión y exclusión: únicamente se escogerá información de artículos, páginas y libros de calidad, valorados y aceptados, como por ejemplo la página web del Ministerio de Sanidad, la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición, página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través de las Comunicaciones de la Comisión al Consejo y Parlamento Europeo, Asociación Española de Normalización y Certificación, Páginas webs de la FAO y de la OMS, PNUMA, BOE bases de datos como Elsevier, EFSA (European Food Safety Authority) Pubmed y Medline, varios libros de la Facultad de Medicina y algunos otros..
- Criterios de exclusión: todos aquellos artículos que hayan sido publicados por la prensa, o en página webs que no sean la fuente principal de información.
- Búsqueda de los estudios seleccionando únicamente aquellos que cumplen los criterios de inclusión y exclusión.
  - Combinación de resultados
  - Formulación de conclusiones
  - Publicación: con los siguientes pasos introducción, método, resultados, discusión y conclusiones.

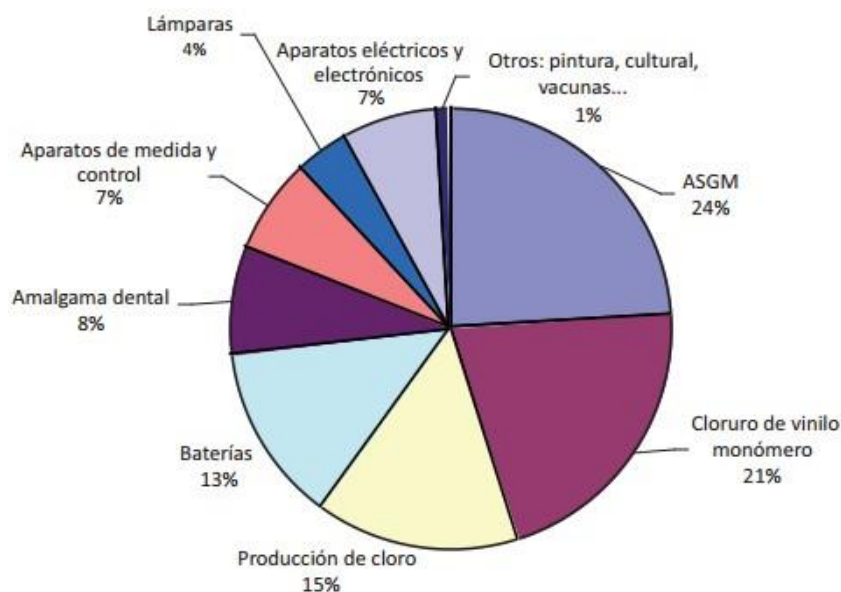
## **IV. RESULTADOS**

### **IV.1. Para qué se usa el Mercurio:**

El mercurio, al ser el único metal líquido a temperatura ambiente, se utiliza en muchos productos y procesos tecnológicos. Es buen conductor eléctrico, tiene una densidad y tensión superficial muy altas, se expande y contrae en toda su masa de modo uniforme y es tóxico para los microorganismos.

Por eso ha habido mucha demanda y su extracción ha sido muy intensa.

Al ser muy volátil, la liberación de mercurio a la atmósfera es enorme, siendo la actividad humana la principal causa de las emisiones de dicho metal.



**Figura 1:** Aplicaciones del mercurio.<sup>11</sup>

## IV.2. Fuentes antropogénicas:

Actualmente hay 3 fuentes principales de emisión antropogénica: la minería, la agricultura y la industria, emitiendo una totalidad de 20 mil toneladas de mercurio/año.

**Minería:** se trata de la principal fuente antropogénica, corresponde con un 50% del total. Se extrae en forma de cinabrio siendo los mayores productores por extracción España (Almadén)<sup>12</sup>, China, Kirguistán y Argelia y en estado libre en Yugoslavia y Eslovenia entre otros.

Desde el punto de vista toxicológico, es importante la emisión de mercurio que se produce por el proceso de amalgamas para separar el oro de la tierra. Posteriormente la amalgama se quema y también se libera vapores de mercurio que contaminan el aire, son pequeñas pero aun así son localmente importantes en los sitios de minería a cielo abierto (Amazonia).

**Agricultura:** las emisiones a través de la agricultura son pequeñas respecto al total, sin embargo son peligrosas debido a que se utilizan las formas orgánicas que son las más tóxicas y porque están de inmediato contacto con el hombre.

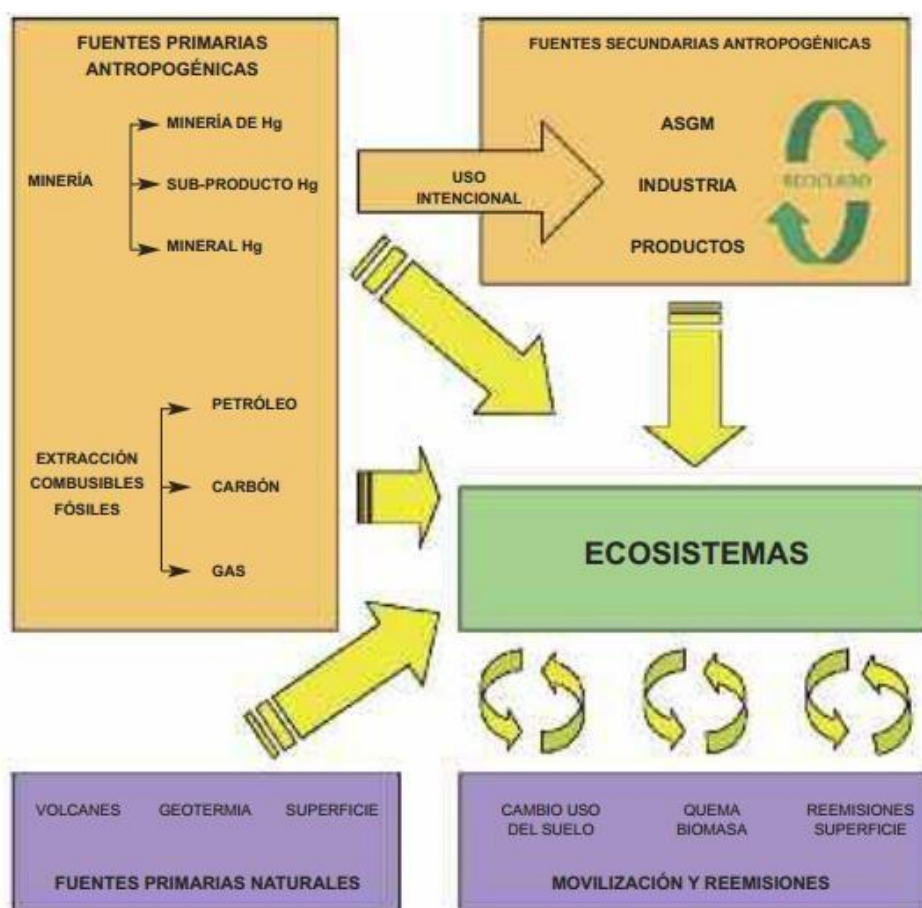
<sup>11</sup> Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva, et al. Idem; p.22.

<sup>12</sup> Ver **Anexo 2:** Las Minas de Almadén.

Los organomercuriales se utilizan en el tratamiento de enfermedades de los productos agrícolas y por lo tanto puede entrar en la cadena de alimentación humana pudiendo desencadenar episodios de intoxicación.

**Industria:** se trata de la fuente de emisión más importante tras la minería, la mayor consumidora de mercurio es la industria química y por lo tanto la mayor emisora, como por ejemplo las plantas de fabricación de cloro y sosa cáustica, otras fuentes son las que lo usan como catalizador para la producción de clorina, ácido acético, acetileno, la fabricación de pinturas, insecticidas, termómetros, barómetros, manómetros, esfignomanómetros, marcapasos y bombas de vacío.

El resto de las fuentes corresponden al uso de los combustibles fósiles y otra serie de actividades como la fabricación de papel, corchos, fundición de metales...



**Figura 2:** Descripción esquemática de las fuentes de emisión y removilización del mercurio en el medio ambiente. Las flechas amarillas corresponden con las emisiones de mercurio junto con su transporte y depósito en los ecosistemas<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva et al. Idem; p. 23.

**a) Fuentes difusas:**

Estas fuentes representan el 2% de las emisiones antropogénicas. Resultan difíciles de localizar debido a su pequeño tamaño, su numerosidad... por lo que no se puede señalar fácilmente con un punto geográfico. Se estiman unas emisiones mundiales a la atmósfera de 1.900 toneladas anuales, siendo las más importantes la combustión de carbón y la calefacción residencial.

**b) Gestión de los residuos de mercurio:**

En Europa, los residuos que contienen mercurio se depositan en vertederos cumpliendo diversos criterios. El residuo podrá destinarse a un vertedero u otro en función del valor. La gestión cada vez es más difícil teniendo en cuenta que cada vez son mayores las fuentes que proporcionan mercurio.

### IV.3. Efectos del Mercurio en la Salud:

Para la OMS este metal es uno de los diez productos que plantean grandes problemas de salud pública; la contaminación por mercurio comenzó siendo un problema local grave, pero ahora mismo se trata de un problema mundial crónico<sup>14</sup>.

Cuando una persona ingiere metilmercurio, el aparato digestivo lo absorbe rápidamente hasta que llega al torrente sanguíneo el cual lo llevará hasta el cerebro, donde se convertirá lentamente en mercurio inorgánico. Tal es la peligrosidad de este metal que puede causar la muerte en dosis elevadas, pero también puede dar lugar a graves problemas de desarrollo neurológico en dosis relativamente bajas, ya que atraviesa con facilidad la barrera placentaria y hematoencefálica<sup>15</sup>.

La exposición al mercurio puede causar graves problemas de salud:

- Daño sobre el sistema nervioso:

El sistema nervioso en desarrollo es mucho más sensible, ya que el metilmercurio interfiere en el crecimiento de las neuronas causando un daño irreversible en el SNC. Los lactantes podrían mostrar déficit en el Cociente Intelectual,

---

<sup>14</sup> MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.[Internet].Madrid: Gobierno de España; 2005. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. Estrategia comunitaria sobre el mercurio.

<sup>15</sup> OMS: Organización Mundial de la Salud. Idem; pp.12-14.

pérdidas de la función motora y en la atención, afectación en el tono muscular y en el desempeño visual-espacial.

- Enfermedad cardíaca y presión arterial alta:

Según estudios concentraciones elevadas de metilmercurio duplica o incluso triplica el riesgo de padecer ataque cardíaco a la vez que aumenta la presión sanguínea.

- Efectos sobre el sistema inmunológico:

Diversos estudios in vitro y con animales muestran que una exposición al metilmercurio puede aumentar el riesgo de padecer enfermedades infecciones y autoinmunes al afectar al sistema inmunológico.

- Otros:

Cáncer, daño renal, daño en pulmón, problemas en el aparato digestivo, daño al ADN y cromosomas, reacciones alérgicas, efectos negativos en la reproducción, eretismo, fatiga, dolores de cabeza, insomnio<sup>16</sup>...

La toxicidad de este metal es muy variable en función de los siguientes aspectos<sup>17</sup>:

- La forma de mercurio (orgánico o inorgánico)
- Dosis
- Grado de oxidación del mercurio
- Edad de la persona que se encuentra expuesta
- Duración de la exposición
- Vía de exposición.
- Afinidad de los componentes celulares al mercurio

#### IV.4. Toxicidad del Mercurio:

- Intoxicación aguda:

Poco frecuente, suele ocurrir en accidentes.

Si se ingiere por vía respiratoria aparece traqueobronquitis, tos, hipertermia, neumonía difusa con edema intersticial, en casos extremos se ha dado mareos, ceguera súbita, espasmos y temblores.

---

<sup>16</sup> Ivelin Morales Fuentes y Rosa Reyes Gil. Mercurio y salud en la odontología. RSP [Internet]. 2003; pp267 y 271.

<sup>17</sup> Seminario Internacional sobre Clínica del Mercurio. Idem; pp. 60-127.

Si se ingiere por vía digestiva da lugar a gastroenteritis aguda, disfagia, vómitos, diarrea, deshidratación y cólicos intensos por úlcera hemorrágica. Más adelante puede dar lugar a estomatitis con sialorrea, halitosis, úlceras sangrantes y caída de piezas dentales

En la última fase puede aparecer insuficiencia renal por necrosis de los túbulos renales o incluso provocar la muerte por shock grave o insuficiencia respiratoria.

Signos	Síntomas	Observaciones histopatológicas
Alteraciones en el sistema visual	Constricción del campo visual, anormalidades en la sensibilidad al contraste	Muerte neuronal en la corteza visual primaria (capas 2-4) y proliferación de la microglía
Alteraciones en el sistema auditivo	Pérdidas auditivas bilaterales	Alteraciones en la corteza auditiva primaria
Ataxia cerebelar	Trastornos en movimientos complejos: adiadocro-cinesia, problemas de escritura, alteraciones de velocidad...	Atrofia de la corteza cerebelar con pérdida de células de la capa granular
Trastornos somato-sensoriales	Parestesia de las extremidades y de los labios, disminución de la sensibilidad, trastornos de discriminación sensorial	Masiva degeneración de los axones asociada a la pérdida de la mielina de las vías sensoriales de los nervios periféricos.

**Tabla 4:** Principales síntomas observados en las personas intoxicadas de manera aguda por MeHg en Japón (2007)<sup>18</sup>

#### Intoxicación subaguda:

Muy poco frecuente, se caracteriza por tos, vómitos, diarrea, estomatitis, eritrodermia mercurial y proteinuria. Si se trata de intoxicación medicamentosa puede acompañarse de nefritis, alteraciones cutáneas y digestivas.

#### Intoxicación crónica:

También llamada mercurialismo o hidrargirismo, se produce por una exposición permanente y durante largos periodos de tiempo.

La exposición crónica a vapor de mercurio produce el síndrome conocido como asténico-vegetativo o micromercurialismo<sup>19</sup>, se caracteriza por neurastenia, hipertrofia

<sup>18</sup> Lilian Ferreira Faro et al. Idem; p.105.

<sup>19</sup> Fabricio Arturo Monteagudo Montenegro. Contaminación por Mercurio en población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena. Tesis de Química Farmacéutica. [Internet]. Lima, Peru: 2002; pp. 24-28.



de la tiroides, pulso débil, taquicardia, gingivitis, alteraciones hematopoyéticas, dermatografismo, eliminación urinaria del mercurio...

Uno de los principales signos del hidrargirismo consiste en una descoloración con manchas amarillas o grisáceas en el ojo ataca inicialmente al cristalino.

Exposiciones con unos niveles superiores a  $0,1\text{mg/m}^3$  de mercurio en aire puede desencadenar temblores musculares y alteraciones en el comportamiento.

En los casos de intoxicación crónica no alcanza directamente a los riñones, sin embargo con una intoxicación prolongada se produce una lesión glomerular por reacción auto-inmune y un daño tubular renal.

Tras pasados 45-60 días sin exposición al metal se puede reducir hasta un 50% los niveles de mercurio en los fluidos biológicos. Los límites fijados en Almadén fueron los siguientes:

70gr/L en sangre y 300 gr/L en orina<sup>20</sup>.

#### IV.5. Toxicocinética:

La toxicocinética se encarga de estudiar las posibles vías de entrada al cuerpo humano del mercurio además del modo de absorción, distribución, transformación y eliminación.

##### a) Absorción:

**Mercurio metálico:** la principal entrada de los vapores de mercurio en el organismo es a través de la vía respiratoria. Estos consiguen llegar hasta los espacios alveolares, una vez que consigue llegar al torrente sanguíneo se une a las células. El cuerpo humano presenta una retención del 80% de los vapores mercuriales.

**Mercurio inorgánico:** las principales formas de absorción son las siguientes:

- Si se trata de vapores de mercurio se inhala por vía respiratoria, se oxida y pasa a mercurio divalente ( $\text{Hg}^{+2}$ ) mediante la acción de la catalasa.
- Si se trata de  $\text{MeHg}$ , se puede perder el grupo metil en el intestino y se orina  $\text{Hg}^{+2}$ .
- Si el contacto se realiza con sales inorgánicas, como cloruro de mercurio ( $\text{HgCl}_2$ ), se absorben en un 12% a través del tracto gastrointestinal.

---

<sup>20</sup> Seminario Internacional sobre Clínica del Mercurio. Idem; pp. 109-110.

Para ser absorbido el metal debe transformarse en sales o en complejos solubles sin carga. Cuando llegan a la sangre se unen a proteínas plasmáticas y se almacenan en el riñón, hígado, bazo, médula ósea, mucosa bucal, aparato respiratorio, piel, corazón, glándulas salivares o pared intestinal.

El mercurio inorgánico también se puede absorber por los pulmones, lo cual dependerá del diámetro de la sal de mercurio inhalada y del tamaño y solubilidad de las partículas.

**Mercurio orgánico:** su principal forma de exposición es a través de la ingesta. Formas orgánicas como MeHg atraviesan la membrana gastrointestinal pasando a la circulación sistémica para distribuirse por los tejidos. Esta distribución se lleva a cabo en pocos días, el MeHg también puede atravesar la placenta.

#### **b) Distribución:**

**Mercurio metálico:** debido a la alta solubilidad en lípidos del mercurio, éste se distribuye fácilmente a través de los tejidos. El lugar preferente de acumulación del mercurio es el SNC, lo consigue atravesando la mucosa oro-nasal.

En las células interacciona a través de grupos –SH libres. El mercurio puede ser oxidado a  $Hg^{+2}$  y se acumula en el sistema nervioso por su insolubilidad en lípidos.

**Mercurio inorgánico:** se distribuye de manera distinta al mercurio metálico ya que tiene baja liposolubilidad, aun así se ha observado en algunas áreas del cerebro y puede causar efectos tóxicos en riñones e hígado, otros estudios muestran que tras absorberse en el intestino también puede acumularse en estómago, intestino y bazo.

**Mercurio orgánico:** el MeHg se une a grupos sulfidrilo (-SH) como proteínas, péptidos o aminoácidos, cuando se encuentra en la circulación sistémica. Su distribución y toxicidad dependen de estas uniones. Una vez que está unido a estos grupos puede ser transportado hasta el SNC conjugado con la L-cisteína.

**c) Metabolismo:**

Las especies orgánicas de mercurio son de metabolización intracelular, mientras que las inorgánicas se disuelven muy bien en el plasma. El mercurio puede ser transformado de las siguientes formas:

- Por oxidación del mercurio metálico a mercurio divalente.
- Por reducción del mercurio divalente a metálico.
- Por conversión del MeHg en mercurio inorgánico.
- Por metilación del mercurio inorgánico a MeHg.

La transformación más importante es la oxidación, ya que el ión  $\text{Hg}^{+2}$  es la más relevante, ya que se trata del compuesto más tóxico del mercurio. Esta reacción se lleva a cabo a través de la acción de la catalasa hidrógeno peroxidasa.

A su vez puede ocurrir la reducción del  $\text{Hg}^{+2}$  a  $\text{H}^0$  probablemente por la acción de bacterias, concretamente por la inducción del operón “mer”.

**d) Eliminación:**

Se puede llevar a cabo a través del sudor, saliva, mucosa intestinal, leche, piel y riñones, sin embargo la principal forma de eliminación es a través de la orina y las heces, aunque depende de la dosis, tiempo, exposición al metal y de la forma en que este se encuentra en el organismo.

Algunas veces la eliminación del mercurio por la orina puede exceder la fecal debido a una inhalación prolongada de vapores de mercurio.

El 90% del MeHg absorbido es eliminado a través de las heces y el resto mediante la orina. Los mecanismos son los siguientes:

- Excreción biliar del MeHg mediada por su unión al glutatión.
- Excreción por la exfoliación de las células epiteliales del intestino.

Una parte del MeHg eliminado por la bilis que entra en el ciclo entero-hepático, es reabsorbido hacia la corriente sanguínea, por lo que parte del sustrato sirve para la microflora intestinal convirtiéndolo en mercurio inorgánico.

Otra de las formas de eliminación es a través de las glándulas sudoríparas aunque aún no está 100% identificado.

COMPUESTO MERCURIO	VIDA MEDIA BIOLÓGICA ORGANISMO EN CONJUNTO	VIDA MEDIA BIOLÓGICA EN ÓRGANOS Y TEJIDOS
Mercurio inorgánico	Mujeres: 29 a 41 días Media: 37 días	Sangre: 20 a 28 días
	Hombres: 32 a 60 días Media: 48 días	
Mercurio elemental	35 a 90 días Media: 60 días	Pulmón: 1.7 días Riñón: 64 días Cerebro > 1 año

**Tabla 5:** Vida media biológica para los diferentes tipos de mercurio<sup>21</sup>.

#### IV.6. Bioindicadores mercuriales de exposición:

Un bioindicador neurotóxico se puede considerar cualquier alteración ya sea bioquímica o morfológica que puede ser medida. Se diferencian los bioindicadores de exposición, bioindicadores de respuesta o de efectos tóxicos y bioindicadores de susceptibilidad.

Para la detección de la exposición al mercurio se hacen análisis en sangre, orina y pelo<sup>22</sup>:

**Sangre:** el contenido de mercurio en sangre se relaciona con la exposición al vapor de mercurio, ingesta de metal o de sus compuestos. Sin embargo una vez que no hay exposición se produce una disminución pronunciada de los niveles de mercurio en sangre, debido a que la vida media del mercurio en sangre es de 3 días.

**Orina:** Fundamentalmente se usa para detectar la exposición de poblaciones o grupos de personas al vapor de mercurio. Sin embargo la limitación es que los niveles de mercurio en orina son muy variables. Para que se alcance un equilibrio en este fluido es necesario tener una exposición continua durante un año aproximadamente.

**Pelo:** se trata de un buen indicador ya que tiene una serie de ventajas respecto a los anteriores, por ejemplo se coge fácilmente, se conserva mejor y además presenta concentraciones más elevadas que en sangre y orina.

<sup>21</sup> Fabricio Arturo. Idem; pp. 22.

<sup>22</sup> Lilian Ferreira Faro et al. Idem; pp. 79-82.

Las ecuaciones que muestran una relación cuantitativa entre ingesta y concentración de mercurio en las principales muestras biológicas son las siguientes:

- Ingesta diaria de mercurio= Consumo diario de pescado (g) x Concentración de mercurio en el pescado.
- Concentración de mercurio en sangre humana ( $\mu\text{g/L}$ )= 0,95 x consumo diario de pescado (g)
- Concentración de mercurio en pelo humano ( $\mu\text{g/L}$ )= (250/1060) x concentración de mercurio en sangre humana.

#### IV.7. Interacciones Bioquímicas del Mercurio:

El mercurio puede afectar a distintos sistemas enzimáticos, inhibiendo o incrementando la actividad de las enzimas. Afecta a los siguientes sistemas<sup>23</sup>:

- Coenzima A (CoA-SH): en cerebro, riñones e hígado.
- Glucosa-6-fosfatasa: produce glucosa libre en el hígado.
- Hexoquinasa: responsable de la fosforilación de la glucosa a glucosa-6 fosfato
- Fosfoglucosa isomerasa.
- Fosfatasa alcalina: importante en la síntesis de proteínas.
- Catalasa: participa en la defensa antioxidante, crecimiento celular y se asocia a procesos tumorales.
- Beta-galactosidasa, beta-glicuronidasa y N-acetil- $\beta$ -glicosaminidasa (NAG): hidrolasas lisosomales.
- Xantina oxidasa.
- Monoaminoxidasa (MAO) actúa en el metabolismo de serotonina y catecolaminas.
- Glutation peroxidasa y glutatión reductasa: oxidantes celulares.
- Triptófano hidroxilasa: enzima limitante de la síntesis de serotonina.

---

<sup>23</sup> Lilian Ferreira Faro et al. Idem; pp. 90-92.

Otros efectos citotóxicos del mercurio:

- Interacciones con el ARN que puede dar lugar a cambios en las propiedades físico-químicas. Puede participar en la aparición de lesiones morfológicas.
- Inducción de la síntesis de determinadas proteínas (metalotineínas).
- Inducción de la síntesis de ADN.
- Provoca cambios en la excreción de determinadas sustancias (porfirinas urinarias).
- Interferencia en la cadena de transferencia de electrones.
- Puede interactuar el mercurio con el selenio, vitamina E, ácido lipoico, cistina, cisteína y coenzima A.

#### IV.8. Acciones a nivel Global para reducir la cantidad de Mercurio en circulación.

##### **a) Convenio de Barcelona para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación.**

Fue adoptado en 1976 y entró en vigor en 1978 dentro del Plan de Acción del Mediterráneo estableciendo medidas para reducir las emisiones de mercurio al mar, por ello se establecieron Planes Nacionales de Acción y Programas estratégicos de Acción en los países de la ribera mediterránea<sup>24</sup>.

Este Convenio cuenta con seis Centros Regionales de Actividad, entre los que se encuentra el de Barcelona, que se encarga de la cooperación internacional con los países mediterráneos en cuanto a desarrollo e innovación del sector productivo y sociedad civil desde modelos de consumo y producción más sostenibles.

El Protocolo de Fuentes Terrestres (aprobado en 1980) lucha contra la contaminación del Mar Mediterráneo por contaminación de ríos, canales u otros cursos de agua. A partir de este Protocolo se desarrolló el Plan Regional de reducción de contaminación por Mercurio (aprobado en Febrero 2012).

---

<sup>24</sup> Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva et al. Idem; pp. 33-40.

**b) Convenio sobre la Protección del Medio Marino del Atlántico Nordeste o Convenio OSPAR.**

Fue adoptado en 1992 y ratificado en España en 1994.

Su objetivo es evitar la contaminación por sustancias peligrosas de las áreas marinas del Atlántico nordeste.

Este convenio incluye la problemática del mercurio estableciendo una serie de medidas para reducir el mercurio y otras para gestionar los residuos<sup>25</sup>.

El mercurio además de los compuestos orgánicos de mercurio se encuentra incluido en las listas de sustancias prioritarias de este Convenio.

Persigue el objetivo de cesar descargas, emisiones y pérdidas de sustancias peligrosas para el año 2020.

**c) Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación.**

Este Convenio se adoptó en 1989 y entró en vigor en 1992 con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud humana.

Este Convenio engloba los efectos que tienen lugar por los residuos peligrosos, dentro de los cuales también se encuentran los desechos domésticos y cenizas de incineradores.

Por ello se han desarrollado una serie de Guías Técnicas para facilitar la gestión con diferentes recomendaciones como los posibles tratamientos a los que se debe de someter el mercurio antes de su eliminación.

España ratificó el Convenio de Basilea en 1994.

**d) Protocolo de Aarhus sobre Metales Pesados de UNECE:**

Se adoptó en 1998 el Protocolo de Aarhus sobre metales pesados por el Órgano Ejecutivo de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE) con el objetivo de controlar las emisiones de metales pesados provocados por actividades llevadas a cabo por el hombre. Esta medida entró en vigor en 2003. Se reducirán los niveles por debajo de 1990.

---

<sup>25</sup> PNUMA, OMS, FAO. Evaluación Mundial sobre el Mercurio. Idem; pp. 225-227.

Determinadas actividades industriales como la producción de minerales no férreos, procesos de combustión o incineración hay que aplicar diferentes técnicas o cambiar los procesos para no utilizar el mercurio.

Este protocolo a mayores tiene medidas para reducir emisiones de productos que contengan mercurio. España ratificó el Protocolo en Septiembre de 2011.

**e) Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional.**

Se adoptó en 1998 y entró en vigor en 2004 para promover la responsabilidad compartida y la cooperación del comercio internacional sobre diferentes sustancias químicas peligrosas, con la finalidad de proteger la salud humana y el medio ambiente. Además quiere concienciar del uso racional de estas sustancias, por lo que se crean una serie de obligaciones para la implementación de un Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo.

Las prohibiciones respecto a las exportaciones de mercurio metálico, entre otros compuestos, se encuentran en el Reglamento Europeo de adopción del convenio de Rotterdam (Reglamento Nº 1102/2008).

España ratificó este Convenio en 2004.

**f) Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a nivel Internacional del PNUMA.**

Fue adoptada en 2006 en Dubai. Orienta sus esfuerzos para que se cumpla el Plan de Aplicación de Johannesburgo, cuyo objetivo es que en el año 2020 no se produzcan efectos negativos tanto para la salud como para el medio ambiente al producir y utilizar productos químicos.

Está formado por tres textos:

- Declaración de Dubai sobre la Gestión Internacional de los Productos Químicos
- Estrategia Política Global
- Plan de Acción Mundial.



Es en el Plan de Acción Mundial donde se encuentran todas las medidas para reducir el riesgo para la salud humana y medio ambiente por el mercurio a escala mundial.

#### **g) Convenio de Minamata**

Tras cuatro años de negociación, representantes de 140 países llegaron a un acuerdo para reducir de forma progresiva las emisiones de mercurio en la industria y el uso de este metal en la fabricación de productos de uso diario. Se firmó en Japón en Octubre de 2013. Este Acuerdo internacional se considera el punto de referencia, ya que implica el cierre de todas las explotaciones mineras y el almacenamiento del mercurio<sup>26</sup>.

Su objetivo fue “proteger la salud humana y el medio ambiente de las liberaciones antropogénicas de mercurio y compuestos de mercurio”<sup>27</sup>.

### **IV.9. Evaluación Mundial sobre el Mercurio**

#### **a) Iniciativas Regionales e Internacionales (año: 2002)**

Algunos países han comenzado a establecer medidas de control regional, subregional e incluso internacional, debido a que a veces las medidas nacionales no son suficientes, ya que el mercurio se transporta a largas distancia por los distintos medios (agua y aire), acumulándose con frecuencia en la cadena alimentaria.

Existen tres instrumentos vinculantes que implican compromisos jurídicos relacionados con la liberación de mercurio y reducción de su uso<sup>28</sup>:

- Convenio LRTAP sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia
- Convenio OSPAR para la Protección del Medio Marino en el Nordeste Atlántico
- Convenio Helsinki sobre la Protección del Medio Ambiente Marino.

---

<sup>26</sup> Para más información, ver **Anexo 3. Convenio de Minamata.**

<sup>27</sup> Lee Bell, Joe DiGangi y Jack Weinberg. Introducción a la contaminación por mercurio y al convenio de Minamata sobre mercurio para las ONG. [Internet]. 2ª edición. Madrid: IPEN; 2014; p. 7.

<sup>28</sup> PNUMA, OMS, FAO. Evaluación Mundial sobre el Mercurio. Idem; pp. 20-22.

A mayores existen seis iniciativas que promueven reducir el uso de mercurio y su liberación al medio: Plan de Acción del Consejo del Ártico, Estrategia Binacional Canadá-EU para Sustancias Tóxicas en los Grandes Lagos, Plan de Acción sobre el Mercurio de los Gobernadores de Nueva Inglaterra y los Ministros del Este de Canadá, Plan de Acción Regional de América del Norte, Programa de Acción Ambiental en el Nórdico y las Conferencias sobre el Mar del Norte.

También existen otras iniciativas por el sector privado que se podrían considerar complementarias

#### **b) Iniciativas Nacionales (año 2002):**

	TIPO DE MEDIDA Y FINALIDAD	SITUACIÓN DE LA APLICACIÓN
<b>Fases de producción y uso del ciclo de vida</b>		
<b>FUENTES PUNTUALES</b>	Evitar el uso internacional de mercurio en procesos	Prohibiciones generales en pocos países
	Limitar la liberación directa del mercurio en procesos industriales	Países de la OCDE
	Aplicar tecnologías de control de emisiones	Algunos países de la OCDE
	Limitar liberación de mercurio hacia las aguas residuales	Algunos países de la OCDE
	Limitar el uso de tecnología obsoleta para evitar liberaciones de mercurio	Países de la OCDE
	Evitar o limitar la comercialización nacional de productos que contengan mercurio	Prohibiciones generales en pocos países
<b>PRODUCTOS</b>	Evitar la exportación de productos con mercurio	Muy pocos países
	Limitar el uso de mercurio	Muy pocos países.
	Limitar el contenido permisible de mercurio en alimentos comerciales	En general países de la OCDE y algunos de la OMS
<b>Fase de eliminación del ciclo de vida</b>		
	Evitar que el mercurio en desechos se libere al medio ambiente	En muchos países de la OCDE
	Evitar que el mercurio se mezcle con desechos menos peligrosos	En muchos países de la OCDE
	Establecer límites para el contenido de mercurio en lodos de depuración	En algunos países
	Restringir el uso de residuos sólidos de incineración en la construcción	Algunos países de la OCDE
	Evitar la recomercialización de mercurio reciclado	En muy pocos países.

**Tabla 6:** En la siguiente tabla se muestra una serie de medidas y controles que se han adoptado por parte de distintos países<sup>29</sup>.

<sup>29</sup> PNUMA, OMS, FAO. Evaluación Mundial sobre el Mercurio. Idem; p.198.

Medidas fijadas por varios países:

- Fijación de concentraciones máximas aceptables de mercurio para distintos medios (agua, aire, suelo y alimentos).
- Acciones para controlar la liberación de mercurio en el medio ambiente, así como el fomento de otras tecnologías, tratamiento de residuos y limitaciones a su eliminación.
- Normativas para los productos que contengan mercurio.
- Reglamentos sobre la exposición al mercurio, así como consejos y medidas de seguridad para todo aquel que esté expuesto.

Muchos países han conseguido disminuir la exposición al Mercurio, gracias a una serie de medidas preventivas, como las anteriormente citadas, impuestas por la legislación.

## **V. DISCUSIÓN**

### **V.1. Emisiones de Vapores de Mercurio, Sistemas de Limpieza y Recuperación**

La contaminación de la atmósfera, y por tanto el agua de lluvia y los suelos, por un alto nivel de mercurio es un hecho comprobado y el grave perjuicio para la salud es conocido desde hace bastantes años. Desde principios del siglo XX ya se inician sistemas de eliminación del mercurio.

Estudios realizados en diversos países, como India, Japón, Estados Unidos, Canadá, Finlandia, Rusia, etc., indican que en todos ellos se está emitiendo anualmente varios cientos de kilos de mercurio en forma de vapor, procedente del gas que emiten las factorías metalúrgicas, sobre todo las especializadas en cloro-sosa.

Por otra parte, siguen aumentando los sistemas de industrialización, que conllevan una mayor demanda del hidrógeno como materia prima, cuya producción por los sistemas actuales no se puede abastecer. Para solucionar este problema hay una propuesta interesante: reutilizar el hidrógeno empleado en la fabricación de cloro-sosa: “315 m<sup>3</sup> por tonelada de cloro producido” (Tesis p. 2) y si tenemos en cuenta la

producción de cloro en el mundo, podríamos contar con una cantidad de hidrógeno añadida de  $6,3 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$ .

Sin embargo, como este hidrógeno vendría contaminado por el mercurio de las células electrolíticas, tendríamos que disponer de un sistema rentable de limpieza y recuperación del mercurio, de acuerdo a la normativa vigente.

Los sistemas empleados para eliminar el mercurio del hidrógeno son los de condensación, adsorción y absorción. El de adsorción, con la posterior recuperación del mercurio, es el mejor método: El carbón activo sulfurado, como material adsorbente, es el más indicado para pequeñas cantidades, pero en los tratamientos de grandes cantidades, por lo complejo de los sistemas de recuperación, no es rentable.

A lo largo del siglo XX ha habido muchas investigaciones sobre el uso del carbón activo sulfurado y otros materiales porosos para adsorber los vapores de mercurio, surgiendo varias patentes, lo que demuestra el interés por la limpieza de la atmósfera y el filtrado de los gases emitidos.

En los años 80 el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica investigó la modificación de silicatos españoles, con el fin de conseguir materiales españoles para usar como adsorbentes mucho más económicos (el precio del carbón sulfurado con un 10% de azufre de la casa Norit era aproximadamente 1000 pts/kg).

Pues bien, Loreto Daza Bertrand en su Tesis Doctoral *“Silicatos sulfurados para la eliminación de vapores de mercurio”*, presentada en 1986 en la Universidad Complutense de Madrid, con la obtuvo una calificación de Apto *cum Laude*, lleva a cabo un trabajo experimental sobre ocho materiales diferentes como agentes potenciales de sulfuración, destacándolos silicatos diatomita, sepiolita, atapulgita y bentonita. Uno de los sistemas empleados en la preparación de estos materiales se ha patentado. Tras un gran número de pruebas experimentales, ofrece diversas alternativas al uso del carbón activado, destacando la bentanita natural purificada y delaminada con ácido nítrico 4N; “da origen a un material que, con una carga de - 10% de azufre, consigue retenciones de vapores de mercurio muy superiores a las obtenidas por los carbones activos sulfurados existentes hoy día en la industria, pudiendo sustituirlos con todo género de ventajas”<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup> Loreto Daza Vertrand. Silicatos sulfurados para eliminación de vapores de Mercurio. Madrid: Ed. Universidad Complutense;1988; p. 196.

Sin embargo, consultando informes técnicos para el tratamiento de aire y gases, se sigue presentando como el más adecuado el sistema del carbón activado<sup>31</sup> (a la superficie de este carbón, dotado de una gran porosidad, se le adhiere un reactivo que reaccione con la molécula que se quiere retener).

Las medidas que se han tomado no son suficientes y es necesario seguir trabajando por conseguir eliminar el mercado del mercurio y sus emisiones. Para ello es muy importante concienciar a nivel mundial sobre el problema, para aumentar el apoyo a las iniciativas internacionales y así que sean más efectivas<sup>32</sup>.

## V.2 ¿Es seguro comer pescado y marisco?

Existen límites máximos establecidos a nivel nacional, los cuales han estado vigentes a partir del 2001 los de la Unión Europea.

Actualmente son los siguientes:

- 1,00mg/kg: rape, bonito, anguila, rosada, gallo, salmonete, raya, besugo, tiburón, pez espada y atún.
- 0,50mg/kg: los demás pescados y productos de pesca
- 0,10mg/kg: complementos alimenticios.

Por supuesto que es seguro comerlo, incluso recomendable consumirlo varias veces por semana, según la Estrategia NAOS (pirámide alimenticia). Se trata de un alimento importante dentro de la dieta mediterránea.

La EFSA (European Food Safety Authority)<sup>33</sup> estableció un consumo mínimo alrededor de 1-2 porciones de pescado/marisco por semana; 3-4 veces por semana máximo. Incluso se asocia con un menor riesgo de mortalidad causada por enfermedad cardíaca coronaria<sup>34</sup>.

---

<sup>31</sup> Marise Keller, Coordinador. Guía para el manejo ambientalmente seguro de los residuos con mercurio en la industria cloro-alkali. [Internet]. BCCC ( Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe); p. 18.

<sup>32</sup> MAGRAMA. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento E. Idem; pp. 3 y 4.

<sup>33</sup> EFSA: European Food Safety Authority. Scientific Opinion on health benefits of seafood (fish and shellfish) consumption in relation to health risks associated with exposure to methylmercury. EFSA Journal [Internet]. 2014; pp.33-35.

<sup>34</sup> MSSSI: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad y AECOSAN [Internet]. Madrid: AESAN; 2015. Mercurio.

Por lo tanto la manera más eficiente para conseguir los beneficios para nuestra salud por el consumo de pescado consiste únicamente en limitar el consumo de especies que contengan altos niveles de metilmercurio, sobre todo para las mujeres embarazadas, mujeres en fase de lactancia y los niños<sup>35</sup>.

### V.3. Asociación Mundial sobre el Mercurio del PNUMA:

En Febrero de 2009, durante la XXV Reunión del Consejo de Administración del PNUMA participaron 140 países en Nairobi, se reconoció que el Mercurio era una preocupación global, por lo que se creó un Comité Intergubernamental de Negociación para elaborar un convenio internacional jurídicamente vinculante sobre el mercurio.

El objetivo general de esta Asociación Mundial sobre el Mercurio consiste en proteger la salud humana y medio ambiente. Para conseguir esto se tomarán medidas para reducir al mínimo las emisiones de mercurio y en última instancia eliminar las emisiones mundiales a partir de fuentes antropógenas que contaminan aire, agua y tierra.

El Consejo de Administración del PNUMA señaló a la Asociación Mundial sobre el Mercurio, que está integrada por representantes de gobiernos, organizaciones de integración económica regional y los principales sectores relacionados con el mercurio, siete líneas de actuación:

	Esfera de Actuación	País/Organización lider
1	Reducción del mercurio en la minería aurífera artesanal de pequeña escala	Or. 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

**Tabla 7:** Esferas de actuación <sup>36</sup>

<sup>35</sup> Para mayor información ver **Anexo 4**. Concentraciones de mercurio en pescados.

<sup>36</sup> Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva et al. Idem; p.36.  
Ver **Anexo 5**: Iniciativas del PNUMA sobre el Mercurio.

España se incorporó a la Asociación Mundial sobre el Mercurio en el área de “Suministro y Almacenamiento de Mercurio” en el 2011 en Nairobi. Las actividades de esta área se dividen en tres:

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

## **VI CONCLUSIONES**

### **PRIMERA:**

Los efectos nocivos del mercurio se han conocido desde hace mucho tiempo:

En el s. XVIII, con las enfermedades que sufrían los mineros del cinabrio, en el XIX, con la era industrial, las personas que tenían un contacto directo con los derivados del mercurio y, en el XX, desde el acontecimiento de Minamata, los terribles efectos por la ingestión de pescado procedente de aguas contaminadas por los vertidos. En todos estos casos no había dudas en que la causa directa era el mercurio.

### **SEGUNDA:**

Los gobiernos han ignorado intencionadamente los efectos nocivos del mercurio, han tardado mucho en reaccionar y los plazos que se han dado son muy largos, de modo que la industria no se molesta e invierte poco para cambiar de tecnología, y eso que en más de un caso han comprobado que, prescindiendo del mercurio, han conseguido procesos más rentables.

### **TERCERA:**

El PNUMA asignó en 2002 un grupo de trabajo que determinara la forma más adecuada para afrontar el problema. Ya en sus primeros informes determinó que, aunque se puede investigar más para conocerlo mejor, esto no impide tomar medidas que limiten la liberación de mercurio a nivel mundial. Y así se está haciendo.

### **CUARTA:**

Hemos de tener en cuenta que la situación en cada país es diferente: faltan muchos en adherirse a los acuerdos internacionales y bastantes de los que lo han hecho, por su nivel económico, no pueden cumplirlos.

#### QUINTA:

Por tanto creo que serían necesarias:

- Una mayor concienciación a nivel mundial, quizá con una completa aportación de datos respecto a las emisiones de mercurio que está causando el hombre y la gravedad de sus efectos en la flora, fauna y la humanidad entera.

- Una cooperación internacional para garantizar que en todos los países fuera efectiva la puesta en práctica de los acuerdos tomados. Algunos ya presentaron al PNUMA una relación de necesidades, entre ellas podríamos destacar:

Información sobre el uso y las emisiones del mercurio, control de niveles de mercurio en los diversos ecosistemas, medidas de prevención, infraestructura para el tratamiento de los residuos y concienciación ciudadana.

- Y todo ello con el objetivo de:

- \* cerrar todas las minas de cinabrio,
- \* precintar los depósitos de mercurio,
- \* limpiar de forma efectiva las emisiones al Medio Ambiente,
- \* investigar para emplear otros materiales limpios en los procesos industriales,
- \* reducir el consumo de materias primas y los productos cuya fabricación genere algún tipo de emisiones de mercurio,
- \* recuperación del mercurio en los productos de deshecho contaminados,
- \* control de la alimentación
- \* concienciación y participación ciudadana
- \* apoyo y fomento de las medidas internacionales.



## VII BIBLIOGRAFÍA

- AESAN: Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición [Internet]. Madrid: AESAN; c2004 [consulta 19 feb 2015]. Riesgos químicos [aprox. 3 pantallas]. Disponible en:

[http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/web/evaluacion\\_riesgos/subdetalle/riesgos\\_quimicos.shtml](http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/web/evaluacion_riesgos/subdetalle/riesgos_quimicos.shtml)

- Alfredo Menéndez Navarro. Catástrofe Morbosa de las minas mercuriales de la Villa de Almadén del Azogue (1778) de José Parés y Franqués. Cuenca: Ed. Universidad de Castilla-La Mancha, 1998.

- EFSA: European Food Safety Authority. Scientific Opinion on health benefits of seafood (fish and shellfish) consumption in relation to health risks associated with exposure to methylmercury. EFSA Journal [Internet]. 2014 [28 feb 2015]; 12(7):3761. Disponible en:

<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/3761.pdf>

- EFSA: European Food Safety Authority. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal [Internet]. 2012 [28 feb 2015]; 10(12):2985. Disponible en:

<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2985.pdf>

- EFSA: European Food Safety Authority. Statement on the benefits of fish/seafood consumption compared to the risks of methylmercury in fish/seafood1. EFSA Journal [Internet]. 2015 [28 feb 2015]; 13(1):3982. Disponible en:

<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/3982.pdf>

- Ernest Vinyoles et al. La normativa europea y el futuro de los esfigmomanómetros del mercurio en las consultas. MC [internet]. 2003 [consulta 20 abr 2015]; Vol. 120 (Núm.12): pág. 460-463. Disponible en:

<http://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-la-normativa-europea-el-futuro-13045524>

- Estefanía Geymonat. Tratamiento térmico para la recuperación de mercurio. Proyecto para el Manejo Racional de Productos con Mercurio en Uruguay. [Internet]. Estocolmo: 2011; [consulta 12 abr 2015]. Disponible en:  
<http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2010/11/Tratamiento-t%C3%A9rmico-para-la-recuperaci%C3%B3n-de-mercurio-Diciembre-2011.pdf>
  
- Fabricio Arturo Monteagudo Montenegro. Contaminación por Mercurio en población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena. Tesis de Química Farmacéutica. [Internet]. Lima, Peru: 2002 [citado 21 feb 2015].  
 Disponible en:  
[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/salud/monteagudo\\_m\\_f/t\\_completo.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/salud/monteagudo_m_f/t_completo.pdf)
  
- FAO y OMS. Evaluación de diversos aditivos alimentarios y de los contaminantes de Mercurio, Plomo y Cadmio. Informe nº 51. Serie de informes técnicos nº 505. Ginebra: FAO y OMS; 1973 [citado 8 Abr 2015]. Disponible en:  
[http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO\\_TRS\\_505\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_505_spa.pdf)
  
- Fernando Bernáldez y Don Ramón Rua Figueroa. Reseña sobre la Historia, la Administración y la Producción de las Minas de Almadén y Almadenejos. [Internet]. Madrid: Imprenta de la Viuda de D. Antonio Yenes; 1862 [citado 22 May 2015].  
 Disponible en:  
<http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000072781&page=1>
  
- Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva, M. Milagros Vega et al. Buscando soluciones para la gestión medioambiental responsable del mercurio. [Internet]. Madrid; MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente); 2012 [citado 2 May 2015]. Disponible en:  
[http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/GESTION\\_MEDIOAMBIENTAL\\_MERCURIO\\_tcm7-284629.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/GESTION_MEDIOAMBIENTAL_MERCURIO_tcm7-284629.pdf)
  
- Ivelin Morales Fuentes y Rosa Reyes Gil. Mercurio y salud en la odontología. RSP [Internet]. 2003 [citado 18 mar 2015]; 37(2):266-272. Disponible en:  
<http://www.scielosp.org/pdf/rsp/v37n2/15298.pdf>

- Jack Weinberg. Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG. [Internet]. IPEN (Red Internacional de Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes); 2007 [consulta el 27 Feb 2015] Disponible en url:  
[http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/INC2/IPEN%20NGO%20Guide%20to%20Mercury%20Pollution\\_Spanish.pdf](http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/INC2/IPEN%20NGO%20Guide%20to%20Mercury%20Pollution_Spanish.pdf)
  
- Lee Bell, Joe DiGangi y Jack Weinberg. Introducción a la contaminación por mercurio y al convenio de Minamata sobre mercurio para las ONG. [Internet]. 2ª edición. Madrid: IPEN; 2014 [citado 12 May 2015]. Disponible en:  
[http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-booklet-hg-update-v1\\_6a-es-web.pdf](http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-booklet-hg-update-v1_6a-es-web.pdf)
  
- Lilian Ferreira Faro, Rafael Durán Barbosa y Miguel Alfonso Pallares. El Mercurio como contaminante ambiental y agente neurotóxico. Vigo: Ed. Universidad de Vigo; 2010.
  
- Loreto Daza Vertrand. Silicatos sulfurados para eliminación de vapores de Mercurio. Tesis Doctoral. Madrid: Ed. Universidad Complutense; 1988.
  
- Luis Mansilla Plaza y José Mª Iriaizoz Fernández. Aproximación al laboreo de minas y a la metalurgia en las minas de Almadén (Ciudad Real). Almadén: Ed. Universidad de Castilla-La Mancha; 2012.
  
- MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente [Internet]. Madrid: Gobierno de España; 2006 [actualizado 2011; consulta 16 Abril 2015]. Acciones en el ámbito Internacional [aprox. 3 pantallas]. Disponible en:  
[http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/mercurio/Acciones\\_en\\_el\\_ambito\\_internacional.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/mercurio/Acciones_en_el_ambito_internacional.aspx)
  
- MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.[Internet].Madrid: Gobierno de España; 2005 [citado 16 abr 2015]. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. Estrategia comunitaria sobre el mercurio [12 páginas]. Disponible en:  
[http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/Estrategia\\_comunitaria\\_sobre\\_el\\_mercurio\\_tcm7-287351.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/Estrategia_comunitaria_sobre_el_mercurio_tcm7-287351.pdf)

- MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.[Internet].Madrid: Gobierno de España; 2006 [citado 10 feb 2015]. Mercurio [aprox. 3 pantallas]. Disponible en:  
<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/mercurio/#>
  
- MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.[Internet].Madrid: Gobierno de España; 2006 [actualizado 2011; consulta 16 Abril 2015]. Papel de España respecto al Mercurio. Centro Tecnológico de descontaminación del Mercurio [aprox. 2 pantallas]. Disponible en:  
[http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/mercurio/Papel\\_Espana\\_mercurio\\_ctndm.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/mercurio/Papel_Espana_mercurio_ctndm.aspx)
  
- Marco Ortega. Niveles de plomo y mercurio en muestras de carne de pescado importado y local. Pediatr. [Internet] 2014 [consulta 4 mar 2015]; 47(3):51-54. Disponible en:  
<http://goo.gl/6fcHha>
  
- Marise Keller, Coordinador. Guía para el manejo ambientalmente seguro de los residuos con mercurio en la industria cloro-alcali. [Internet]. BCCC ( Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe); [citado 25 feb 2015]. Disponible en:  
<http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2011/01/Guia-ESM-Cloro-Alcali1.pdf>
  
- MSSSI: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad y AECOSAN [Internet]. Madrid: AESAN; 2015 [citado 10 feb 2015]. Mercurio [aprox.3 pantallas]. Disponible en:  
[http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/web/cadena\\_alimentaria/subdetalle/qui\\_mercurio.shtml](http://aesan.msssi.gob.es/AESAN/web/cadena_alimentaria/subdetalle/qui_mercurio.shtml)
  
- Ministerio de Medio Ambiente de Japón. Enseñanzas de la Enfermedad de Minamata y el Manejo del Mercurio en Japón. [Internet]. Japón: Ed. División de la Salud y Seguridad Medioambiental; 2013 [consulta 19 mar 2015]. Disponible en:  
[http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/es\\_full.pdf](http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/es_full.pdf)

- Montserrat García Gómez, Paolo Boffetta et al. Mortalidad por cáncer en los mineros del mercurio. Gac. Sanit. [Internet]. 2007 [consulta 30 abr 2015]; 21(3):210-217.

Disponible en:

[file:///C:/Users/Carlos/Downloads/S0213911107720071\\_S300\\_es.pdf](file:///C:/Users/Carlos/Downloads/S0213911107720071_S300_es.pdf)

- OMS: Organización Mundial de la Salud [Internet]. Ginebra: OMS; c 2013 [citado 20 feb 2015]. El Mercurio y la Salud [aprox. 5 pantallas]. Disponible en:

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

- Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the Commission related to mercury and methylmercury in food. The EFSA Journal [Internet]. 2004 [consulta 15 abr 2015]; 34,1-14. Disponible en:

<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/34.pdf>

- PNUMA, OMS, FAO. Evaluación Mundial sobre el Mercurio. [Internet]. Ginebra, Suiza; Ed. PNUMA. 2002, Versión española en 2005 [citado 20 feb 2015]. Disponible en:

<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/Publications/financial-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf>

- Sabrina Llop, Jesús Ibarlucea, Jordi Sunyer y Ferran Ballester. Estado actual sobre la exposición alimentaria al mercurio durante el embarazo y la infancia, y recomendaciones en salud pública. GS [Internet]. 2012 [20 mar 2015]; 27(3):273-278.

Disponible en:

<http://scielo.isciii.es/pdf/gv/v27n3/especial2.pdf>

- Seminario Internacional sobre Clínica del Mercurio. Memorias. Academia Nacional de Medicina.[Internet]. Bogotá, Colombia: Editorial Kimpres; 2006 [citado 5 abr 2015].

Disponible en:

<https://goo.gl/dlLjT>

- Unión Europea. Directiva 2001/22/CE de la Comisión de 8 de marzo de 2001 por la que se fijan métodos de toma de muestras y de análisis para el control oficial del contenido máximo de plomo, cadmio, mercurio y 3-mcpd en los productos alimenticios. DOCE [Internet]. 2001 [consulta 20 abr 2015] ; (L77):14-21. Disponible en:

<http://www.boe.es/doue/2001/077/L00014-00021.pdf>

## VIII ANEXOS

### Anexo 1. Propiedades Físicas del Mercurio<sup>37</sup>:

Punto de fusión: -38.87 C

Punto de ebullición: 357.72 C

Densidad (g/ml) : 13.534 (25 C), 13.546 (20 C), 14.43 (en el punto de fusión), 14.193 ( a -38.8 C, sólido) y 13.595 (0 C)

Las ecuaciones generales para calcular la presión de vapor son:

de 0-150 C:  $\log P = -3212.5/T + 7.15$

de 150-400 C:  $\log P = -3141.33/T + 7.879 - 0.00019t$

P= presión de vapor en Kpa; T = temperatura en K; t= temperatura en C.

Calor de vaporización (25 C): 14.652 Kcal/mol

Tensión superficial (25 C): 484 dinas/cm

Resistividad eléctrica (20 C): 95.76  $\mu\text{ohm cm}$

E (acuoso) Hg/Hg<sup>2+</sup>: -0.854 V ; Hg/Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup>: 0.7961 V; Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup>/Hg<sup>2+</sup>: 0.905 V

Coeficiente de expansión de volumen del líquido (20 C):  $182 \times 10^{-6}/\text{C}$

Calor latente de fusión: 11.8 J/g

Expansión de volumen:  $V_t = V_0(1 + 0.18182 \times 10^{-3} t + 0.0078 \times 10^{-6} t^2)$

Angulo de contacto de vidrio (18 C): 128

Distancia atómica: 3 nm

Punto triple: 38.84168 C

Conductividad térmica: 0.092 W/cm<sup>2</sup> K

Densidad crítica: 3.56 g/ml

Temperatura crítica: 1677 C

Presión crítica: 558.75 mm de Hg

Sistema cristalino: romboédrico

Potenciales de ionización:

1er electrón: 10.43 V ; 2 electrón: 18.75 V; 3er electrón: 34.2 V

Presión interna: 13.04 atm

Indice de refracción (20 C): 1.6-1.9

Solubilidad en agua: 20-30  $\mu\text{g/l}$ . Insoluble en agua y disolventes orgánicos.

Coeficiente de temperatura de tensión superficial: -0.19 mN/m C

Viscosidad (20 C): 1.55 mPa s

Entropia (S<sub>298</sub>): 76.107 J/mol

Calor de fusión: 2297 j/átomo

---

<sup>37</sup> Hoja de seguridad XXI. Mercurio y Sales de Mercurio.

## **Anexo 2. Las Minas de Almadén**

El origen de la explotación de estas minas no está muy claro: se han encontrado algunas citas haciendo referencia a que los romanos extrajeron este cinabrio para obtener el bermellón, a raíz de lo cual, hay quienes piensan que los fenicios y cartagineses, al ser un pueblo mercantil más que guerrero, es muy posible que ellos aprendieran a obtener el bermellón del cinabrio para comerciar con él, proceso que luego heredarán los romanos los cuales lo usaban para teñir las telas, signo de prestigio social y económico<sup>38</sup>.

Con la dominación árabe nos llegó el nombre de Almadén y Almadanejo, dando a entender que la actividad minera de la zona siguió de forma prácticamente ininterrumpida.

Tras la reconquista en el S. XII y S. XIII pasó a la Orden Calatrava, pero a partir del 1512 los beneficios adquiridos por la explotación eran para las arcas reales y a partir de 1523 pasó a formar parte de la Corona de Castilla.

En 1525 Carlos I arrienda el yacimiento a una familia de banqueros alemanes Fugger, hasta 1645 año en el que fue recuperada por la Real Hacienda.

En 1555 se descubrió el método de amalgamación, el cual se extendió hasta las colonias americanas, permitiendo explotar minerales de oro y plata a un coste bajo por lo que el mercurio pasó a ser un material imprescindible para la obtención de estos metales. Para ello se trituraba el cinabrio, se calentaba en un horno a más de 500º, se destilaban los gases y se recogía el mercurio líquido en recipientes de hierro.

En el s. XVIII y XIX se fueron incorporando mejoras en los hornos y en los sistemas de destilación porque había muchas pérdidas en los gases.

A mediados del S XIX se cambia el procedimiento de venta de mercurio, cerrándose acuerdos con la banca Rothschild, la cual llega a conseguir el monopolio mundial del mercurio.

Durante el s. XX aumentó muchísimo la explotación del mercurio al depender directamente del Estado que, con los importantes ingresos que conseguía, pretendía atender a toda costa la demanda externa.

En el Real Decreto 25 de Junio de 1918 se estableció un Consejo de Administración para la organización y administración de las Minas de Almadén. A través del Real Decreto de 15 Marzo de 1921 se encomendó la explotación y

---

<sup>38</sup> Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva, M. Milagros Vega y otros. Buscando soluciones para la gestión medioambiental responsable del mercurio. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid: Gobierno de España; 2012

administración de la mina de plomo de Arrayanes (Jaén) por este organismo, motivo por lo que pasó a denominarse Consejo de Administración de Minas de Almadén y Arrayanes.

La extracción minera en Almadén cesó en 2001 y la actividad metalúrgica en 2003 por los problemas de salud y ambientales que genera el mercurio.

En los siguientes años se pasa a comercializar el mercurio excedente por un acuerdo con la asociación europea de la industria cloroalcalina Eurochlor.

Sin embargo se estableció en el Reglamento nº 1102/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de octubre de 2008 se finalizaría la actividad antes del 15 de marzo de 2011.

Durante el s. XX aumentó muchísimo la explotación del mercurio, al depender directamente del Estado que, con los importantes ingresos que conseguía, pretendía atender la demanda externa. Se explotaron de manera ininterrumpida hasta el año 2001.

Cuando se cerraron las instalaciones en el 2003, se plantearon actuaciones de recuperación del patrimonio minero, cuyo proyecto fue AZOGUE, el cual consistía en la restauración de la escombrera del Cerco de San Teodoro.

Por parte de MAYASA se quería preservar el patrimonio minero, por lo que se transformaron las instalaciones en un espacio socio-cultural de visita pública: El Parque Minero de Almadén.

Las Minas de Almadén se encuentran ahora en las listas de Patrimonio Mundial de la UNESCO junto con Idrija, Eslovenia, con el nombre de “Patrimonio del Mercurio, Almadén e Idria”.

Hay varias memorias<sup>39</sup> y estudios sobre las minas de Almadén. De entre ellos quisiera destacar el informe médico que elaboró el doctor José Parés en 1778 y que ha publicado Alfredo Menéndez en 1998<sup>40</sup>.

Conscientes de las graves enfermedades que sufrían los mineros por las intoxicaciones del mercurio, se mandó construir un Real Hospital en 1755, donde el Dr. Parés fue destinado en 1761. Tras varios años de atención a los enfermos, la Corona

---

<sup>39</sup> - Memoria sobre los Azogues, dirigida al Excmo. Sr. Ministro de Hacienda. 1856

- Luis M<sup>a</sup> Sánchez Molero y Lletget. Memoria sobre Azogues. Manuscrito. 1856.

- Fernando Bernáldez. Reseña sobre la Historia, la Administración y la Producción de Almadén. 1862.

- Félix A. Solá. El mercado de Azogues. 1876.

<sup>40</sup> Alfredo Menéndez Navarro. Catástrofe morboso de las minas mercuriales de la villa de Almadén del Azogue (1778) de José Parés y Franqués. Cuenca: Ed. Universidad de Castilla-La Mancha; 1998.



le encarga este estudio con el fin de mejorar la asistencia médica. Para ello hace un recorrido minucioso de las enfermedades relacionadas con las distintas actividades que desarrolla el minero en la extracción del mercurio. El contacto diario de José Parés con los mineros le permitió elaborar un trabajo profundo y extenso que podemos considerar como una auténtica joya, no sólo por el estudio detallado de cada una de las enfermedades, sino por considerarlas por primera vez como enfermedades laborales.

Exceptuando un poco de agricultura, el resto vivía de la mina, donde se iniciaban desde niños. Así, llegados a adultos, todos padecían alguna enfermedad. Las bajas temporales por motivos de salud normalmente gravaban la situación familiar, por lo que la mayoría no se lo podían permitir. Todo esto se juntaba con la rentabilidad de la producción, ya que la intervención estatal se centraba en la gestión de la mano de obra para atender el mercado, desatendiendo los cambios que pudieran disminuir los efectos nocivos de la alta toxicidad.

Bajo esta perspectiva socio-laboral propuso mejoras como facilitar a los mineros guantes, botas, mascarillas, ventilar las galerías, eximir de los trabajos a los que necesitaran iniciar un tratamiento, etc.

Las enfermedades que detectó en los mineros y que estudió detalladamente, describiendo cómo se manifiestan, y exponiendo de forma sistemática las causas de su aparición y los tratamientos más adecuados son:

*Temblor, tos, hemoptisis, empiema, ptisis, caquexia, hidropesía, somnolencia, demencia, sudor vaporoso, flujos de sangre, vómitos y cámara, atrofia o extenuación, ptialismo o salivación y lombrices*, además de una serie de enfermedades secundarias relacionadas con cada una de las citadas anteriormente. Quiero resaltar que cuando cita el tipo de enfermedad añade siempre “de los mineros”, es decir, “*Temblor de los mineros*”, “*Tos de los mineros*”, etc., dejando muy claro que son resultado de las penosas condiciones laborales y la alta toxicidad del mercurio.

Resultado de este excelente trabajo (médico y reivindicativo) por parte del Dr. Parés es que no se lo publicaron, ni le devolvieron el manuscrito.

Quizá por ese motivo los autores de trabajos posteriores no conozcan dicha obra, porque ninguno la cita.

Gracias al trabajo investigador de Alfredo Menéndez ha llegado hasta nosotros.

### **Anexo 3. Catástrofe en Minamata:**

En la bahía de Minamata, junto a un pequeño pueblo pesquero, se instaló una gran empresa química de la Compañía Chisso en 1932. En esos años los vertidos a la atmósfera y al mar no eran considerados un perjuicio al Medio Ambiente, ni se sabía que esos materiales se podían transformar y entrar en la cadena alimenticia.

Las primeras manifestaciones se dieron en los gatos en 1952 que, por sus extraños movimientos, parecían haber enloquecido. Muchos de ellos se tiraban al mar. Aparecían peces y aves muertas.

A partir de 1956 aparecieron en las personas fuertes temblores en las manos, luego en los pies, por lo que les costaba mantenerse en equilibrio, no se les entendía lo que decían y babeaban continuamente. El mal se extendía a los sentidos con pérdida de visión y de oído, llegando a dañar gravemente el sistema nervioso.

La alarma se extendió al comprobar que las mujeres de esa comarca daban a luz a niños discapacitados. Al desconocer el tipo de enfermedad, aislaron a todas estas personas por temor a un posible contagio.

La postura de los empresarios y políticos por ocultar el problema prorrogó la situación hasta que en 1959 unos investigadores independientes probaron que el origen de la enfermedad estaba relacionada con el metilmercurio y lo denunciaron. Una revuelta de los habitantes y pescadores pidiendo que cesaran los vertidos provocó que saliera a la luz pública. Tras una fase de represalias, la empresa instaló un filtro asegurando que ya no se contaminaba el mar. Pero era falso. La situación continuó hasta 1966 en que cesaron los vertidos al aplicar la empresa otro sistema de producción más económico. Pero no se indemnizaron a los pescadores ni se reconoció el daño causado hasta que en 1973 las asociaciones de pescadores consiguieron que se condenara a la empresa.

El número de toneladas de mercurio arrojadas al mar durante esos años no se podrá saber con exactitud, pero el mal causado, con unos 3000 afectados, y lo que todavía pueda llegar es tremendo.

El aspecto positivo es que este hecho despertó a las instituciones internacionales a favor de una protección del Medio Ambiente. Es por lo que la llamada enfermedad de Minamata es el punto de partida y de referencia, a raíz del cual se han empezado a tomar medidas prácticas de control<sup>41</sup>.

---

<sup>41</sup> Ministerio de Medio Ambiente de Japón. Enseñanzas de la Enfermedad de Minamata y el Manejo del Mercurio en Japón. Ed. División de la Salud y Seguridad Medioambiental. Japón: 2013; pp.3-7.

## Anexo 4. Clasificación de los pescados en función de sus concentraciones de Mercurio:



Figura 3.: Fuente: Fundación vivo sano.

## Anexo 5. Iniciativas Internacionales

Área	País líder/organización	Descripción
Reducción del mercurio en el sector cloro-álcali	Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU (USEPA)	Recopilación de inventario de mercurio para reducir el vertido de mercurio en el sector cloro-álcali
Reducción de mercurio en los productos	Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU (USEPA)	Proyectos piloto y el desarrollo de la conciencia para reducir el uso de mercurio en productos y el vertido de mercurio causado en los procesos de fabricación
Reducción de mercurio en la extracción de oro artesanal y de pequeña escala	Organización para el Desarrollo Industrial (UNIDO)	Proyectos piloto para reducir / eliminar el uso y el vertido de mercurio en la extracción de oro artesanal y de pequeña escala
Control de mercurio producido en la combustión del carbón	Agencia Internacional de Energía (AIE) Clean Coal Centre	Compilación de directrices para la reducción de vertido de mercurio causado por la combustión de carbón
Transferencia de mercurio en la atmósfera y la investigación de destino	Instituto de investigación gubernamental de Italia – Institute of Atmospheric Pollution Research	Aumento de la información científica y el intercambio de información sobre las fuentes de vertido internacional de mercurio, así como la transferencia atmosférica y el destino
Gestión de desechos de mercurio	Dr. Masaru Tanaka (Lead) Ministerio del Medio Ambiente del Japón	Compilación de los casos de buenas prácticas y proyectos piloto para la reducción de vertido de mercurio de los desechos que contienen mercurio
Gestión de suministro de mercurio	España y Uruguay	Proyectos piloto para reducir el suministro de mercurio y promover el almacenamiento ambientalmente racional del mercurio
Vertido de mercurio producido en la industria de cemento	Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento	Recopilación del inventario de vertido de mercurio, identificación y promoción de la tecnología para minimizar las emisiones de mercurio y el desarrollo de la conciencia dentro de la industria

**Tabla 8: Iniciativas del PNUMA sobre el Mercurio** <sup>42</sup>

<sup>42</sup> Ministerio de Medio Ambiente de Japón. Enseñanzas de la Enfermedad de Minamata y el Manejo del Mercurio en Japón. Ed. División de la Salud y Seguridad Medioambiental. Japón, 2013; p. 55.

## Anexo 6. Legislación Relevante Complementaria en el Ámbito Nacional 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 (CE) nº 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	
USOS DEL MERCURIO (Continuación)	Reglamento (CE) nº 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.	
		Obliga a las empresas que fabrican e importan sustancias a evaluar los riesgos derivados de su utilización y a adoptar las medidas necesarias para gestionar cualquier riesgo identificado.	

FASE DEL CICLO DE VIDA	LEGISLACIÓN EUROPEA	ESTABLECE	TRANSPOSICIÓN A LEGISLACIÓN NACIONAL
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.
CONTROL DE EMISIONES Y VERTIDOS DE MERCURIO (Continuación)	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) nº 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.	

**Tabla 9:** Buscando soluciones para la gestión medioambiental responsable del mercurio<sup>43</sup>

<sup>43</sup> Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva, M. Milagros Vega y otros. Buscando soluciones para la gestión medioambiental responsable del mercurio. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid: Gobierno de España; 2012; pp. 55-56.

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 eléctrico 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) Nº 149/2008 por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 396/2005	Contenido máximo de residuos de mercurio) en productos hortofrutícolas	

FASE DEL CICLO DE VIDA	LEGISLACIÓN EUROPEA	ESTABLECE	TRANSPOSICIÓN A LEGISLACIÓN NACIONAL
GESTIÓN DE RESIDUOS (Continuación)	Reglamento (CE) Nº 149/2008 por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 396/2005 mediante el establecimiento de los anexos II, III, IV Reglamento (CE) Nº 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 hortofrutícolas y otros <i>Contenido máximo de residuos de mercurio (y otras sustancias) en productos alimenticios).</i>	
	Reglamento (CE) nº 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.	

**Tabla 10:** Buscando soluciones para la gestión medioambiental responsable del mercurio.<sup>44</sup>

<sup>44</sup> Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva, M.Milagros Vega y otros. Idem; pp. 57-58.



## Anexo 7. 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 aquel 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
MADRID	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

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.

**Tabla 11:** Buscando soluciones para la gestión medioambiental responsable del mercurio<sup>45</sup>.

<sup>45</sup> Gloria del Cerro Martín, José Ramón Barnuevo Villanueva, M.Milagros Vega y otros. Idem; pp. 59-60.