Anal. Real Acad. Nac. Farm., 2004, 70: 933-959

Revisión

Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio

ANTONIO L. DOADRIO VILLAREJO
Académico de Número de la Real Academia Nacional de Farmacia

RESUMEN

Se realiza una revisión de la presencia del mercurio en las cadenas tróficas, a partir de sus fuentes de contaminación, tanto naturales como antropogénicas, su metabolismo en el ser humano, así como de los efectos tóxicos que producen las distintas especies de mercurio, su interés como contaminante y su tratamiento.

Palabras clave: Mercurio.— Toxicidad.— Contaminación.

ABSTRACT

Mercury ecotoxicology and toxic action

This work is a revision of the presence of mercury in the nutritional chains, from its sources of contamination, their metabolism, as well as of the poisonous effects that produce the different mercury species, their interest like polluting agent and its treatment.

Key words*:* Mercury.— Toxicity.— Pollution.

EXTENSIVE ABSTRACT

The mercury is presented in the trofic chains, in two groups: inorganic and organic species, with characteristic toxicological different. The inorganic species inside the trofic chains, they are constituted by Hg metal, mercury oxide HgO and two ionic species, the divalent mercuric Hg^{2+} and the monovalent Hg_2^{2+}; while the organic species are habitually three: the dimethyl mercury $(CH_3)_2Hg$, the methyl mercury CH_3Hg^+ and the phenyl mercury $C_6H_5Hg^+$.

The mercury is in the nature in form of cinnabar mineral that is a mercuric sulphide, or mainly, in big bags of mercury metal. The mercuric sulphide is not attack for the atmospheric agents (CO_2, O_2 and H_2O) and it does not in the water cycle.

The natural source of more important contamination is due to the sublimation of the Hg metal.

The antropogenic sources are several; the use of the mercury like fungicide, herbicide and preservative of seeds in agriculture; the wastebasket, the electrochemical industry, their use in paintings and piles, the industry of the catalysts, the combustion of coal, those poured industrial and for the sewers, they are the most important. It is necessary to highlight, mainly the source of industrial contamination, since supposes 83% of the total contamination of mercury approximately for this source type.

The mercury is biotransform, especially in the rivers and oceans for microorganisms, and incorporates to the trofic chains like methyl mercury, very toxic.

In the atmosphere, Hg^{2+} is the predominant species, formed starting from other species of mercury, as the dimethylmercury, the HgO or the Hg metal, in different chemical processes.

We can establish the following rules of behaviour of the mercury in the water:

All the forms of Hg become Hg^{2+} in the water for reaction with O_2. Hg also exists of its own incorporation through the water cycle.

The rusty species of mercury decrease to Hg^{o}, for the action of bacterial pseudomonas in a anaerobic process.

The Hg^{2+} species are methylated in continental or coast waters, well for aerobic methylation in numerous microorganisms and bacterial.

The Hg metal presents a clinical square of weakness, chills, metallic flavour, nauseate, vomits, diarrheic, cough and thoracic oppression.

The Hg^{2+} precipitates proteins of the mucous and it gives an ashen aspect to the mouth, pharynx and intestine, with intense pain and vomits for the corrosive effect on the mucosa of the stomach that produces shock and death. The recovery takes place alone with a quick treatment.

The organic derivates not usually produce sharp intoxications, and when these take place they are unrecoverable and they produce the death.

Chronic intoxication of the Hg metal produce neurological effects and the call syndrome vegetative astenic whose effects are takes place: goitre, tachycardia, low pulse, gingivitis, irritability, tremors, loss memory and intense salivation. These effects are reversible.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE INTERÉS BIOLÓGICO

El mercurio se presenta en las cadenas tróficas en dos grupos de especies químicas, inorgánicas y orgánicas, con características toxicológicas diferentes, como después veremos. Las especies inorgáni-

cas, dentro de las cadenas tróficas, están constituidas por el propio Hg metal, el óxido de mercurio HgO y dos especies iónicas, el catión mercúrico Hg^{2+} y el mercurioso Hg_2^{2+}; mientras que las especies orgánicas son habitualmente tres: el dimetil mercurio $(CH_3)_2Hg$, el metil mercurio CH_3Hg^+ y el fenil mercurio $C_6H_5Hg^+$.

La especie de Hg^{2+}, muy ácida y soluble en agua, está presente en las aguas de bebida. Una vez absorbido, por su característica de ácido blando, forma complejos con ligandos biológicos, preferentemente con átomos dadores de azufre, siendo el aminoácido preferido, la cisteína, con el cual forma un complejo estable para su metabolización. El catión mercurioso Hg_2^{2+} (Hg^+-Hg^+), se oxida con facilidad a mercúrico, Hg^{2+}, y no es fácil que entre dentro de las cadenas tróficas, aunque sí que está presente en algunos procesos industriales. Por su parte, tanto el Hg metal, como el HgO, en forma de partículas, se encuentran en la atmósfera, y son fuentes continuas de contaminación.

De las especies orgánicas, la que más interés tiene es el metil mercurio $(CH_3)Hg^+$, que es acumulado por los animales marinos, y por tanto incorporado a las cadenas tróficas con facilidad. El descubrimiento de esta especie en los peces dio lugar al esclarecimiento del ciclo biológico del mercurio. También son interesantes las propias sales del metilmercurio $(CH_3)Hg$ X(Cl, Fosfatos) y el fenilmercurio y sus sales C_6H_5Hg X(Cl, acetato), usados en el tratamiento de semillas. Estas especies orgánicas son liposolubles y fácilmente absorbibles, acumulándose en glóbulos rojos y producen alteraciones importantes en el sistema nervioso central.

PRINCIPALES COMPUESTOS DE MERCURIO (1, 2)

Óxidos de mercurio HgO

Se conocen dos especies de óxidos de mercurio, la amarilla y la roja. Se han utilizado en terapéutica y a veces con fines criminales por su solubilidad en ácidos orgánicos. No son muy interesantes desde el punto de vista toxicológico.

Cloruros de mercurio Hg_2Cl_2, $HgCl_2$

El cloruro mercurioso Hg_2Cl_2 o calomelano es un sólido blanco, insoluble en agua, alcohol y éter. Se descompone por la luz y el calor en $HgCl_2$ y Hg. Los agentes alcalinos, como el bicarbonato, aumentan su toxicidad al transformarlo en $HgCl_2$.

El cloruro mercúrico $HgCl_2$ es corrosivo, fácilmente soluble en agua (mejor en fría), alcohol, éter y glicerina. El cloruro sódico aumenta su solubilidad en agua. Reductores como el SO_2 o el ácido fosforoso lo reducen a calomelano.

El sublimado de $HgCl_2$ es cáustico e irritante de las mucosas por formación de albuminatos solubles. Los polvos de $HgCl_2$ pueden perforar la córnea por este motivo.

Yoduros de mercurio Hg_2I_2

El yoduro mercurioso Hg_2I_2 es un sólido verdoso, muy poco soluble en agua, alcohol y éter y se descompone fácilmente en Hg y HgI_2.

Por su parte, el yoduro mercúrico HgI_2 es un polvo rojo, casi insoluble en agua fría, pero soluble en medio ácido o débilmente alcalino, o en presencia de otras sales mercúricas. Es soluble en aceite, lo que se ha utilizado como vehículo para aplicaciones terapéuticas de esta especie.

Nitratos de mercurio. $Hg_2(NO_3)_2.2H_2O$, $Hg(NO_3)_2.8H_2O$

El nitrato mercurioso $Hg_2(NO_3)_2.2H_2O$ ha sido utilizado en farmacia con el nombre de turbit nitroso. Presenta poco interés toxicológico.

El nitrato mercúrico $Hg(NO_3)_2.8H_2O$ es empleado en forma de solución nítrica en terapéutica con el nombre de ácido de mercurio para cauterizar ulceraciones. Esta solución es cáustica, de acción tóxica intensa y hay que manejarla con mucha precaución. Este compuesto se emplea también en el curtido de pieles, donde no se elimina por completo, y en el fieltro de los sombreros.

Cianuro de mercurio $Hg(CN)_2$

Es un sólido cristalino que no da las reacciones de cianuros. Las proteínas se ligan al Hg y se libera CN^-.

Oxicianuro de mercurio $Hg\ (CN)_2{}^o$

Se emplea en cirugía, urología y en oftalmología como antiséptico.

Tiocianato de mercurio $Hg(SCN)_2$

Es un polvo blanco de propiedades eméticas.

Fulminato de mercurio $Hg\ (CN)_2O_2$

Muy utilizado en la fabricación de explosivos como detonante. Soluble en agua y alcohol. Es un polvo cristalino que explota fácilmente en seco.

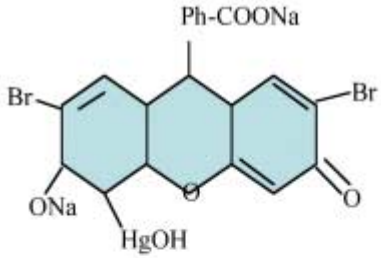
Compuestos orgánicos

Se absorben por vía cutánea. El empleo de jabones antisépticos de organomercuriales es por tanto una fuente de entrada de mercurio.

Algunas especies orgánicas se han empleado como diuréticos o antisépticos. El Novasurol (Mercuriclorofenoxiacetato de sodioveronal) o el Neptal, se utilizan como diuréticos en inyección intramuscular. En ambos casos, el mercurio es fácilmente liberado, pero su acción tóxica está disminuida por su unión a la molécula orgánica.

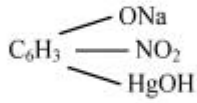
Como antiséptico, el más utilizado es el Mercurocromo, polvo rojo, poco irritante, que puede causar reacciones de hipersensibilización. Contiene un 27 por 100 de mercurio y es soluble en agua. Se utiliza en concentraciones de 0,5-2 por 100 en agua. También se usa

para estos fines, el borato de fenilmercurio, veinte veces más activo y menos tóxico que el anterior. El Mercurofeno, Tiomersol o Mertiolate, Nitromersol o el Nitrato de fenilmercurio, también son de acción antiséptica, y aunque son poco irritantes, producen reacciones de sensibilización.

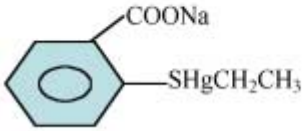


MERCUROCROMO

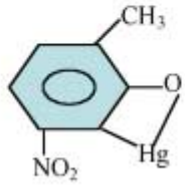
Borato de fenilmercurio



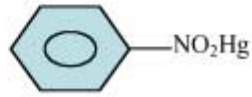
MERCUROFENO



TIOMERSOL



NITROMERSOL



Nitrato de fenilmercurio

Como fungicidas se emplean el cloruro de etilmercurio o Ceresán, el fosfato de etiomercurio o Samesán, el cloruro de metoxietilmercurio, el silicato de metoxietilmercurio y el metilmercurediciandiamida o Panógeno.

PRESENCIA EN LA NATURALEZA: BIODISPONIBILIDAD Y BIOMOVILIZACIÓN

El mercurio está en la naturaleza en forma de mineral cinabrio, que es un sulfuro de mercurio, o principalmente en grandes bolsas de mercurio metal. El sulfuro de mercurio es prácticamente inatacable por los agentes atmosféricos (CO_2, O_2 y H_2O) y no entra en el ciclo del agua, por lo que la incorporación del mercurio a las cadenas tróficas por esta vía es insignificante.

La principal incorporación de mercurio a las cadenas tróficas es a partir del propio Hg metal, ya que es volátil y a temperatura ambiente se está sublimando, con lo que se incorpora a la atmósfera en forma de vapor, sufriendo procesos posteriores de transformación en la especie soluble de Hg^{2+}.

El mercurio no es un metal abundante en la corteza terrestre, su concentración se estima en unas 0,5 ppm, aunque su distribución es muy irregular, y se acumula en grandes bolsas, donde la concentración de mercurio es muy elevada.

Además, hay que destacar, que dentro de las cadenas tróficas, el mercurio sufre procesos de bioconcentración, principalmente en los animales marinos y en los cereales, lo que hay que tener muy en cuenta como fuente de contaminación accidental.

FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Las fuentes de contaminación pueden ser naturales o antropogénicas, como es habitual en estos metales tóxicos.

La fuente natural de contaminación más importante es debida a la sublimación del propio Hg metal, como hemos indicado anteriormente, y por tanto se crea un ciclo atmosférico como vía de entrada a las cadenas tróficas.

Las fuentes antropogénicas son varias: la utilización del mercurio como fungicida, herbicida y conservante de semillas en agricultura; las papeleras, la industria electroquímica, su uso en pinturas y pilas, la industria de los catalizadores, la combustión de carbones, los

vertidos industriales y por las alcantarillas son las más importantes (3). Cabe destacar sobre todo la fuente de contaminación industrial, ya que supone aproximadamente el 83 por 100 de la contaminación total de mercurio por este tipo de fuente. En la Figura 1 se muestra un gráfico del uso industrial del mercurio con los porcentajes que corresponden a cada sector.

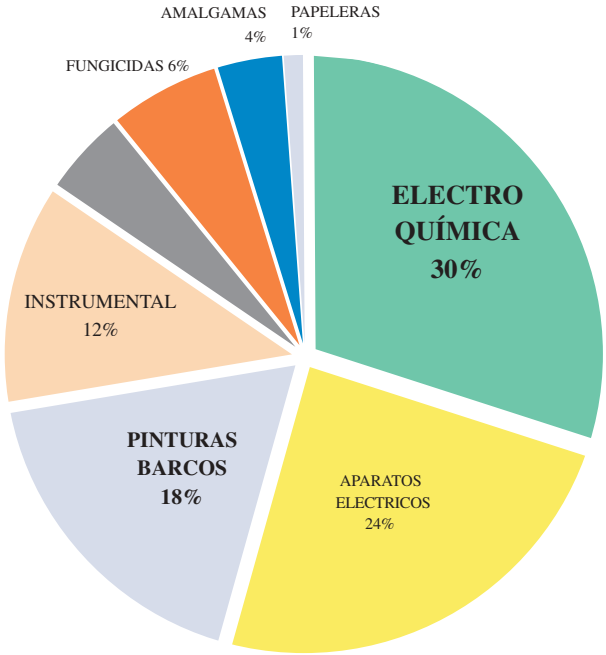


FIGURA 1. *Fuentes de contaminación industrial del mercurio.*

CICLO NATURAL DEL MERCURIO

Un esquema de este ciclo lo podemos ver en la Figura 2. En él se puede apreciar que es un ciclo atmosférico, y que la principal incorporación del mercurio a la atmósfera es debida al vulcanismo y al proceso de desgasificación del mercurio metal por sublimación. A partir de la atmósfera, o bien se inhala directamente, o se incorpora a las cadenas tróficas mediante el ciclo del agua.

CICLO ANTROPOGÉNICO DEL MERCURIO

En la Figura 3 se muestra un esquema de este ciclo, donde se puede ver que la incorporación del mercurio a las cadenas tróficas, por esta vía, es más variada que la anterior. El mercurio puede entrar en un ciclo atmosférico por los vertidos industriales atmosféricos o por la combustión de carbones, desde donde se introduce en las cadenas tróficas por el ciclo del agua, o bien se inhala directamente. También entra directamente en el ciclo del agua mediante el vertido de residuos a las aguas de los ríos y mares y a través de vertidos industriales o domésticos (alcantarillado). Por último, debido al uso agrícola del mercurio, está presente como contaminante del suelo, desde donde se incorpora a las cadenas tróficas.

CICLO DE BIOTRANSFORMACIÓN

El mercurio es biotransformado, en especial en el agua de los ríos por microorganismos, e incorporado a las cadenas tróficas como metilmercurio, muy tóxico. En la Figura 4 se muestra un esquema simple de los procesos de biotransformación del mercurio. En la atmósfera, la especie predominante es la de Hg^{2+}, formada a partir de otras especies de mercurio, como el dimetilmercurio, el HgO o el propio Hg metal, en diferentes procesos químicos; mientras que en el agua, como hemos dicho, se biotransforma a metilmercurio.

FIGURA 2. *Ciclo natural del mercurio.*

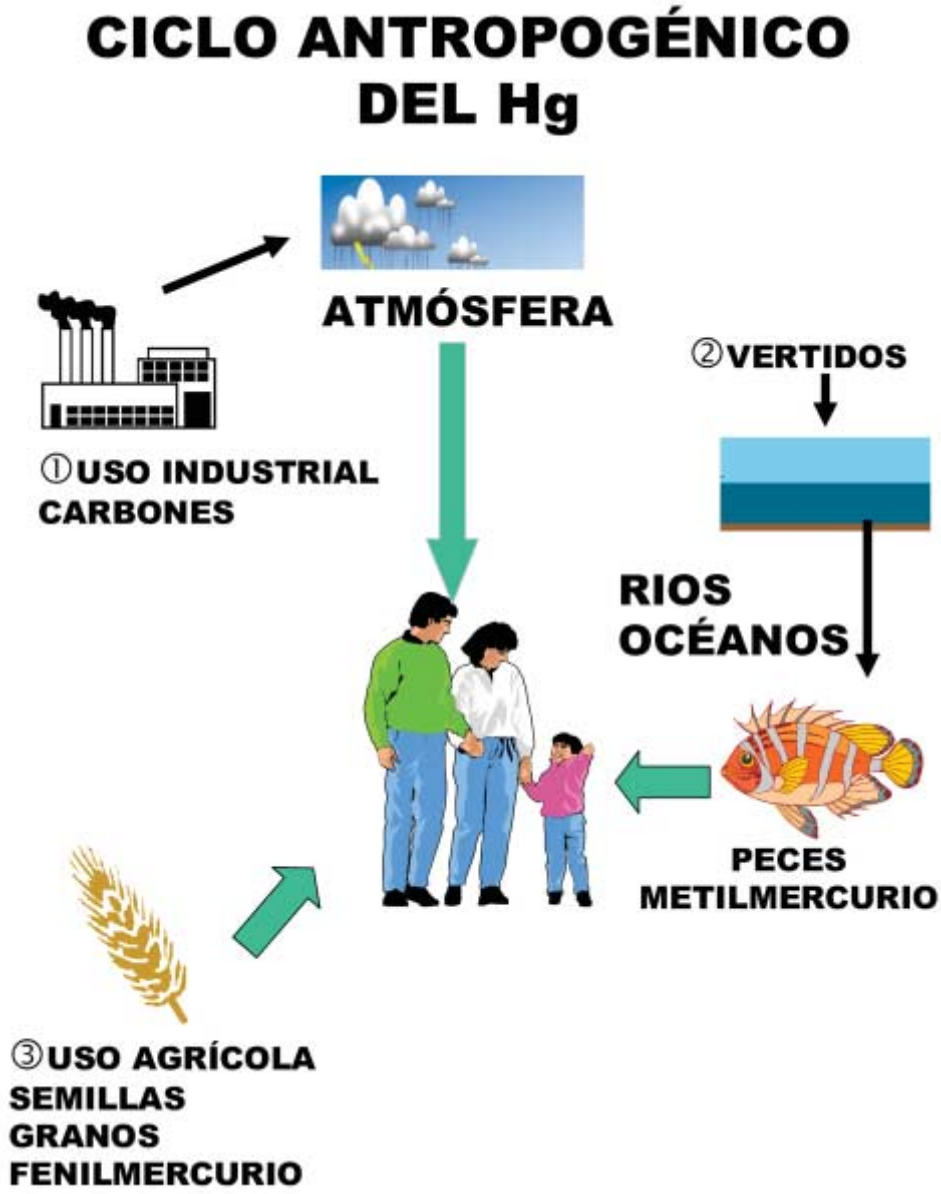


FIGURA 3. *Ciclo antropogénico del mercurio.*

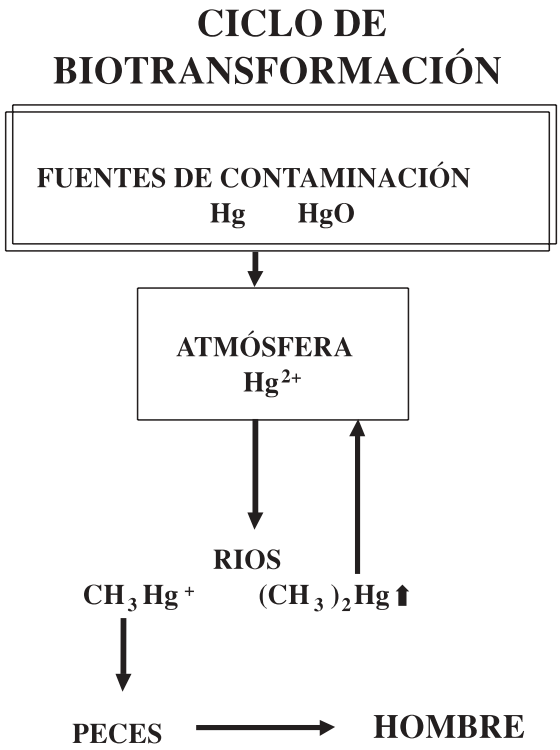


FIGURA 4. *Ciclo de biotransformación del mercurio*.

El ciclo acuático de biotransformación merece un tratamiento más amplio. En el esquema de la Figura 5 podemos apreciar que la especie predominante es la de Hg^{2+}, muy soluble, y que puede ser bioacumulado directamente por los peces, o seguir un proceso de biotransformación, realizado por microorganismos acuáticos, dando lugar a dos especies orgánicas, el dimetilmercurio volátil, que se recicla a la atmósfera y el metilmercurio, que se bioacumula en los peces, y por tanto es incorporado a las cadenas tróficas. A su vez, el metilmercurio formado puede transformarse en Hg_2^{2+}, el cual se oxida a Hg^{2+}, siguiendo su ciclo de biotransformación, o en Hg metal, que se deposita en forma de sedimentos.

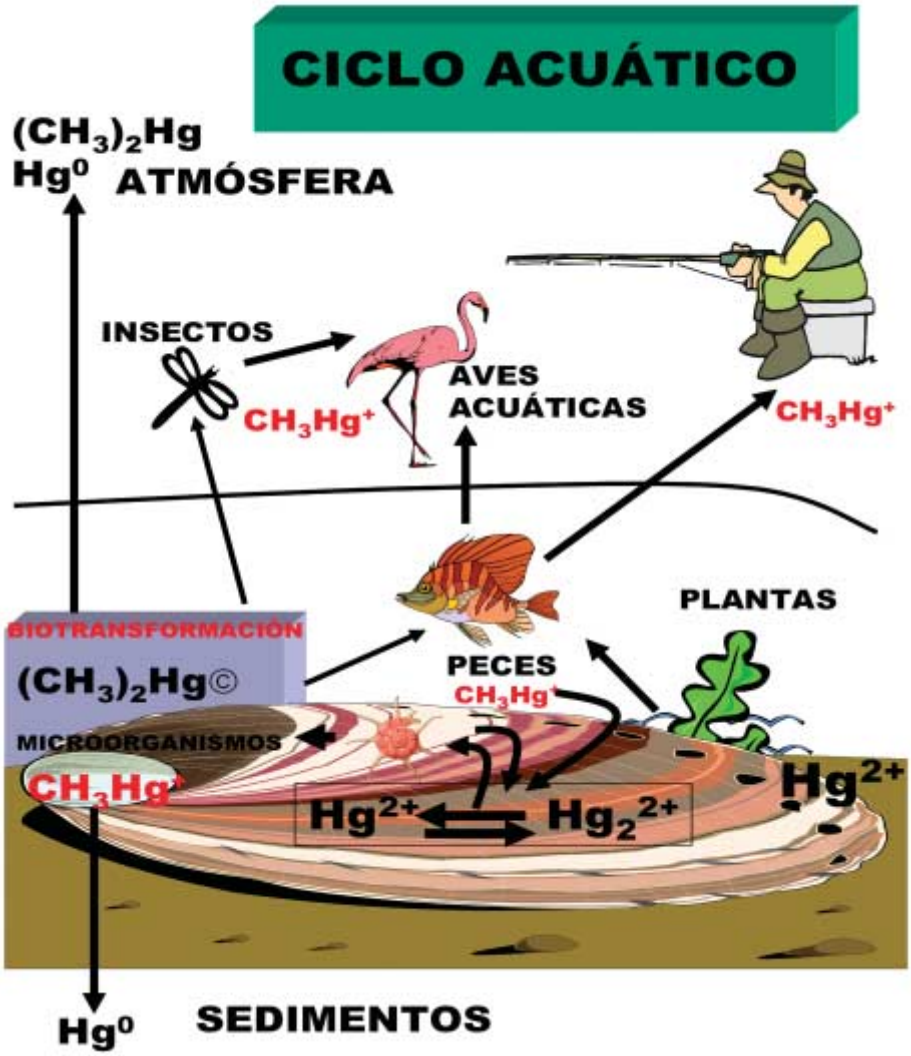


FIGURA 5. *Biotransformación del mercurio en los ríos.*

Podemos establecer las siguientes pautas de comportamiento del mercurio en las aguas:

- Todas las formas de Hg se transforman en Hg^{2+} en el agua por reacción con O_2. Además existe Hg^{2+} de su propia incorporación por el ciclo del agua.

- Las especies oxidadas de mercurio se reducen a Hg^o por la acción de bacterias pseudomonas en un proceso anaeróbico y se sedimenta.
- El Hg^{2+} se metila en aguas continentales o litorales, bien por metilación aeróbica en numerosos microorganismos y bacterias, producida por metilación del complejo homocisteina-Hg en los procesos celulares que normalmente producen metionina, o por metilación anaerobia de bacterias metanogénicas o por derivados de metilcobalamina. Un esquema básico (4) de este último tipo de metilaciones lo podemos ver en la Figura 6.

La formación de metilmercurio o del dimetilmercurio es función del pH del medio, siendo la especie predominante a pH muy básico el dimetil.

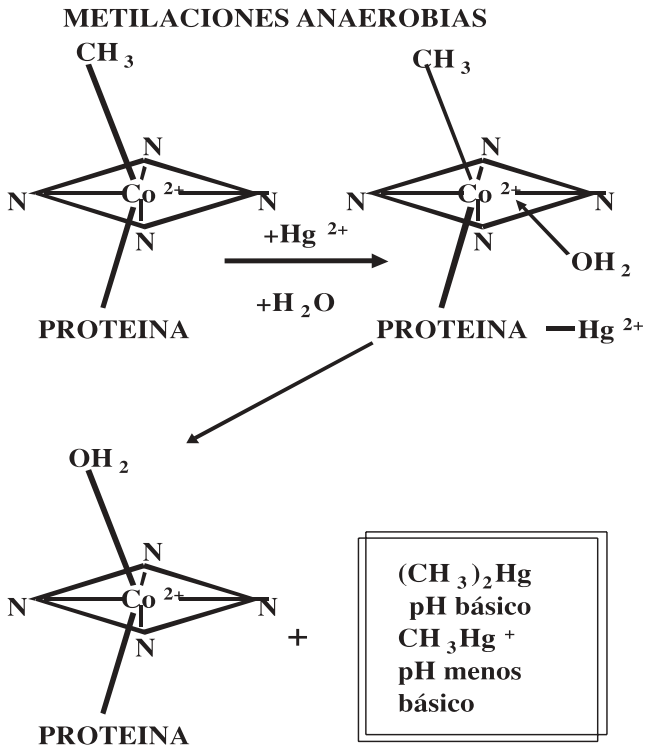


FIGURA 6. *Acción de la metilcobalamina en la metilación del mercurio.*

CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN LAS CADENAS TRÓFICAS

Como consecuencia de las fuentes de contaminación, el mercurio se va incorporando a las cadenas tróficas, estimándose una concentración en las aguas de bebida de 5-100 ng/L, con un valor medio de 25 ng/L, principalmente en forma de Hg^{2+}, mientras que en alimentos, la concentración es muy baja, en general no detectable, y que puede ser del orden de unos 20 ng/g en forma de metil mercurio. Por último, en la atmósfera, las concentraciones que se registran son de tipo estacional, con valores en verano de 2-3 ng/m^3 y en invierno de 3-4 ng/m^3.

No obstante, como hemos dicho anteriormente, el mercurio se bioconcentra y puede dar a intoxicaciones de tipo accidental. Los peces depredadores, que necesitan mucho O_2 para su metabolismo, son capaces de bioconcentrar mercurio del orden de 30-180 µg/Kg. Por ejemplo, si un atún absorbe 2,8 litros de agua/Kg/min, y la concentración de mercurio presente en el agua es de 0,1 ppb, se irían metabolizando 0,28 µg/min/Kg de mercurio, lo que suponen 403 µg/día/Kg. Aún suponiendo una baja absorción, del 1 por 100, se acumularían 4 µg/día/Kg. Los cereales pueden bioconcentrar hasta 3 µg/Kg, y en la leche y derivados se pueden encontrar hasta 6 µg/Kg, mientras que en las carnes la concentración de mercurio puede ser del orden de 10-20 µg/Kg.

METABOLISMO DEL MERCURIO (5, 6, 7)

El mercurio se absorbe por tres vías: la gastrointestinal, la respiratoria y la dérmica. Las especies químicas que entran por la vía gastrointestinal son el Hg metal, Hg^{2+} y las especies orgánicas de mercurio. La absorción del primero, por esta vía, es por ingesta accidental, y no se absorbe más del 0,01 por 100, por lo que sus efectos tóxicos son prácticamente inexistentes. El Hg^{2+}, sin embargo, se puede absorber hasta un 15 por 100, y las especies orgánicas hasta el 80 por 100, por lo que potencialmente son muy tóxicas. Vía respiratoria, por inhalación directa, se absorben dos especies presentes en la atmósfera, el Hg metal en forma de vapor y el HgO; este

último en forma de partículas. La absorción de éstas es del orden de un 80-90 por 100, por lo que aquí sí que suponen un peligro toxicológico los vapores de Hg, por su alta absorción. Por último, destacar la difícil absorción dérmica de las especies inorgánicas de mercurio (8).

Las especies orgánicas de mercurio son de metabolización intracelular, mientras que las inorgánicas se disuelven fácilmente en el plasma, sobre todo el Hg^{2+}. En la Tabla I vemos la relación medio intra/extracelular de diferentes especies de mercurio, subrayando el alto valor del metilmercurio y el más bajo del Hg^{2+}, de acuerdo con la afirmación anterior.

TABLA I. *Relaciones de mercurio intra/extracelulares*

Especie	Hematíes/Plasma
CH_3Hg^+	10
Hg^{2+}	0,4
Hg	2

Por tanto, las especies inorgánicas deben ser más fáciles de eliminar, ya que se unen en el plasma a cisteína, formando un complejo plasmático que se elimina por riñón en forma de acetil cisteinato soluble. Sin embargo, las especies orgánicas R-Hg son de muy difícil eliminación, con períodos de semieliminación muy largos de hasta 69 días. Además, pueden atravesar la barrera hematoencefálica y producen encefalopatías graves (9). En la Figura 7 se muestra el $t_{½}$ del metilmercurio en sangre y en un capilar. La cantidad acumulada crece rápidamente al principio de la exposición y se sostiene a los 69 días (tiempo de semieliminación). En el mercurio metal la vida plasmática media es más baja, de 23-40 días (10).

En la Figura 8 se muestra un esquema completo del proceso LADME del mercurio, en donde se aprecia que los sitios de almacenaje preferidos del mercurio son el hueso, donde la especie inorgánica Hg^{2+} puede sustituir isomórficamente al Ca^{2+} en la hidroxiapatita, el pelo, el hígado, donde se une a una metalotioneína de

almacenaje, y en el cerebro y placenta, donde penetran las especies mercuriales orgánicas y producen efectos muy tóxicos, como hemos comentado anteriormente. La presencia del mercurio en la placenta es indicativo de los efectos teratógenos que presenta.

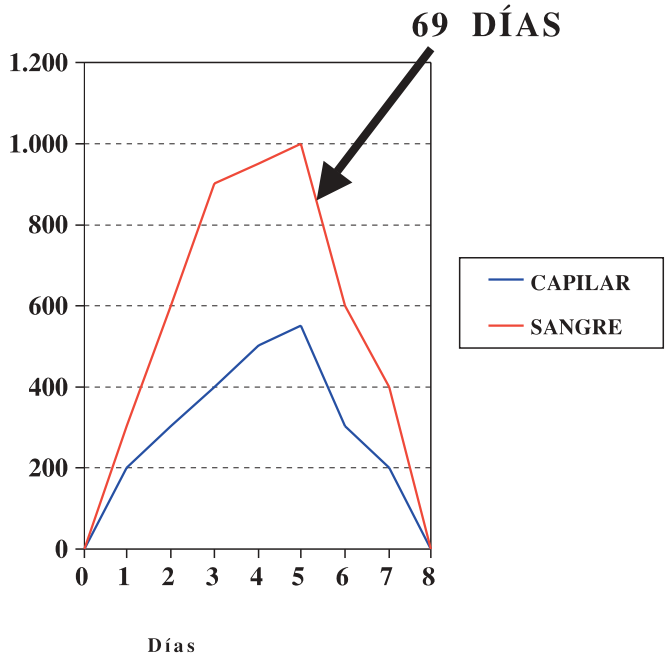


FIGURA 7. *Períodos de semieliminación ($t_{1/2}$) del metilmercurio en sangre y en un capilar. Para una ingesta diaria de 10 µg.*

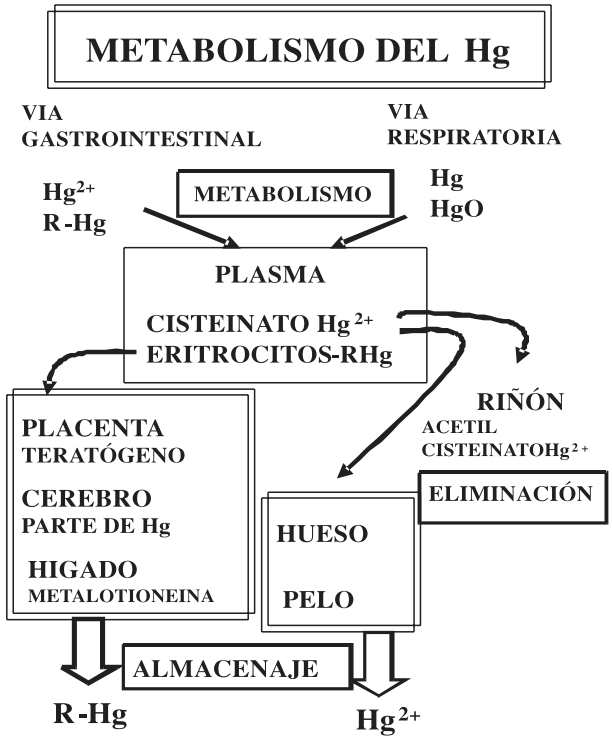


FIGURA 8. *Proceso LADME para el mercurio.*

TOXICOLOGÍA DEL MERCURIO

La toxicología del mercurio es diferente, según su especie química, y si la intoxicación es aguda o crónica.

Intoxicaciones agudas (11, 12, 13)

El Hg metal presenta un cuadro clínico de debilidad, escalofríos, sabor metálico, náuseas, vómitos, diarrea, tos y opresión torácica. Basta una exposición breve al vapor de Hg para producir los síntomas en pocas horas.

El Hg^{2+} precipita proteínas de las mucosas y da un aspecto ceniciento a la boca, faringe e intestino, con dolor intenso y vómitos

por el efecto corrosivo sobre la mucosa del estómago, que produce shock y muerte. La recuperación se produce sólo con un tratamiento rápido.

Los derivados orgánicos no suelen producir intoxicaciones agudas, y cuando éstas tienen lugar son irrecuperables y producen la muerte del individuo.

Intoxicaciones crónicas (14, 15, 16)

El Hg metal produce efectos neurológicos y el llamado síndrome vegetativo asténico, cuyos efectos son: bocio, taquicardia, pulso lábil, gingivitis, irritabilidad, temblores, pérdida de memoria y salivación intensa. Estos efectos son reversibles.

El Hg^{2+} presenta un cuadro clínico de fuerte sabor metálico, estomatitis, gingivitis, aflojamiento de dientes, aliento fétido, así como una toxicidad renal grave por necrosis tubular renal. Típica de los efectos tóxicos de este catión y de los calomelanos es la llamada enfermedad rosa o acrodinia (17), que es una reacción de hipersensibilidad con eritema en extremidades tórax y cara, fotofobia, taquicardia y diarrea. Estos cuadros clínicos presentan una buena recuperación.

Los derivados orgánicos producen una reducción del campo visual irreversible, dificultad auditiva, asimismo irreversible, ataxia, parálisis y muerte. Los efectos dependen de la dosis, produciéndose los dos primeros a bajas concentraciones y los últimos a altas concentraciones del tóxico. Además son teratógenos y afectan al feto, con retardo mental y deficiencias neuromusculares.

EL MERCURIO COMO CONTAMINANTE DEL MEDIO AMBIENTE

El mercurio es un reconocido contaminante doméstico. Es un contaminante de las ciudades, eliminándose por las alcantarillas del orden de 200-400 Kg/hab/año.

También es un contaminante agrícola, habiéndose utilizado el fenilmercurio como conservante de granos de cereales, lo que dio

lugar a una conocida tragedia en Iraq (18) por consumo de pan contaminado con fenilmercurio, con miles de afectados.

Es un importante contaminante atmosférico, sobre todo en zonas altamente industrializadas, donde hay una muy fuerte contaminación por la combustión de carbón y combustibles fósiles, lanzándose a la atmósfera hasta 3.000 T/año de Hg. La contaminación más importante proviene de las industrias electrolíticas de producción de cloro y álcalis, lo que da lugar a una concentración atmosférica de Hg elevada, del orden de 20 ng/m^3. Sin embargo, las especies de Hg presentes en la atmósfera son inorgánicas y por tanto de menor toxicidad que las orgánicas, aunque por el ciclo del agua pasan a la litosfera y son biotransformadas a metil mercurio, muy tóxico. La contaminación atmosférica de Hg es un problema global, ya que por los movimientos atmosféricos se transfiere desde los focos de contaminación a otras partes del planeta. Este hecho se puede apreciar en la Figura 9, donde se muestra la concentración de mercurio en el hemisferio norte, un día de agosto y 15 días después, observando que la zona roja (mayor concentración de Hg), varía del primer día al día 15. Es por tanto un peligroso contaminante ambiental (19).

La contaminación de las aguas por el mercurio también es importante, bien debido a los vertidos residuales de las industrias productoras de cloro y álcalis, o por residuos procedentes de papeleras e industrias de celulosa, donde se utiliza el fenilmercurio como protector de la pulpa de celulosa, además del arrastre de la contaminación atmosférica por el ciclo del agua. Se estima que la concentración de mercurio por esta última fuente es del orden de 0,02-1 ng/mL, en ríos y lagos, y de 0,3 ng/mL, en las aguas marinas, siendo mucho mayores en las mediaciones de las industrias de cloro o álcalis y en las papeleras. Las intoxicaciones masivas en Japón, en la bahía de Minamata son un ejemplo de vertidos industriales que contaminan a las aguas de Hg y su bioconcentración en los peces (20).

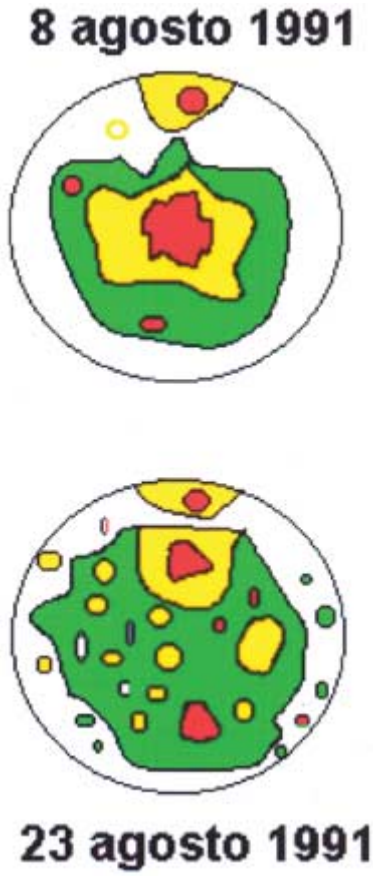


FIGURA 9. *Concentraciones de Hg en el hemisferio norte, tomadas por el satélite Nimbus 7 de la NASA. En rojo, las concentraciones mayores y en verde las menores.*

ANÁLISIS Y LOCALIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO

La primera identificación de metilmercurio en pescado se produjo en un lucio del Báltico en 1965, realizando su análisis por espectrografía de masas, lo que supuso de hecho, el descubrimiento de la cadena trófica del Hg. El límite máximo de Hg encontrado en pes-

cado fresco es de 1.000 ng/g de Hg. La bioconcentración en peces supone el traslado al hombre por las cadenas tróficas del metilmercurio. En una dieta normal podemos encontrar hasta 5 ng/g de Hg, que se incrementa en una dieta alta en pescado hasta 650 ng/g de Hg, el cual es concentrado en tejidos y órganos.

El análisis por activación neutrónica supuso una revolución, ya que permite detectar concentraciones de Hg < 0,02 ng/g. Estos análisis permiten determinar la localización geográfica de la fuente contaminadora, determinando la concentración de Hg en los peces capturados en diversas localizaciones del curso de un río. Esto lo podemos apreciar en la Figura 10, donde se muestra un análisis por activación neutrónica de un río contaminado, dividido por zonas. La zona en rojo es donde se ubica la fuente de contaminación de mercurio.

Pero no sólo se puede medir la contaminación de un río por esta técnica, también es posible determinar la contaminación de mercurio en los últimos 150 años, tanto en aguas como en suelo, analizando el Hg contenido en las plumas de las aves depositadas en museos.

Para ello se usan aves marinas que se alimentan de peces, donde se detecta metilmercurio, o terrestres que se alimentan de granos, para la detección de fenilmercurio, y que se utilizan como indicadores de contaminación. En la Figura 11 se muestra el análisis de Hg en plumas de águila marina, y en la Figura 12 del azor.

En la Figura 11, las concentraciones obtenidas de Hg, son debidas al metilmercurio, y hasta principios del siglo xx eran de fuentes naturales, mientras que desde la segunda mitad del siglo xx son más importantes las antropogénicas. En la Figura 12, las concentraciones son de fenilmercurio. Su primer uso data de 1940, desde donde se aprecia un aumento de la contaminación por esta especie, hasta que se prohíbe en 1965, desde donde empieza a disminuir.

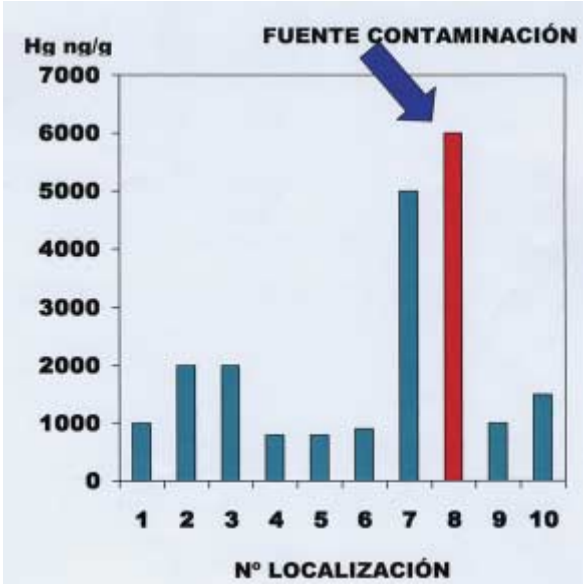


FIGURA 10. *Análisis por activación neutrónica de Hg en peces de un río, dividido en zonas.*

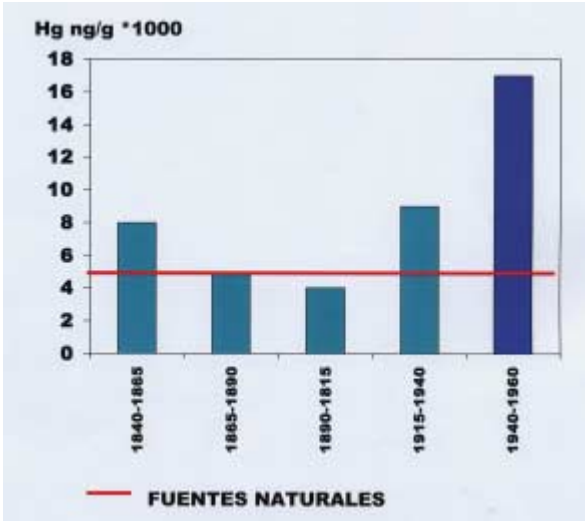


FIGURA 11. *Análisis de Hg por activación neutrónica de plumas de águila marina de museos, desde 1840 a 1960. La porción de barra verde o azul, que supera la línea roja, es debida a concentraciones antropogénicas.*

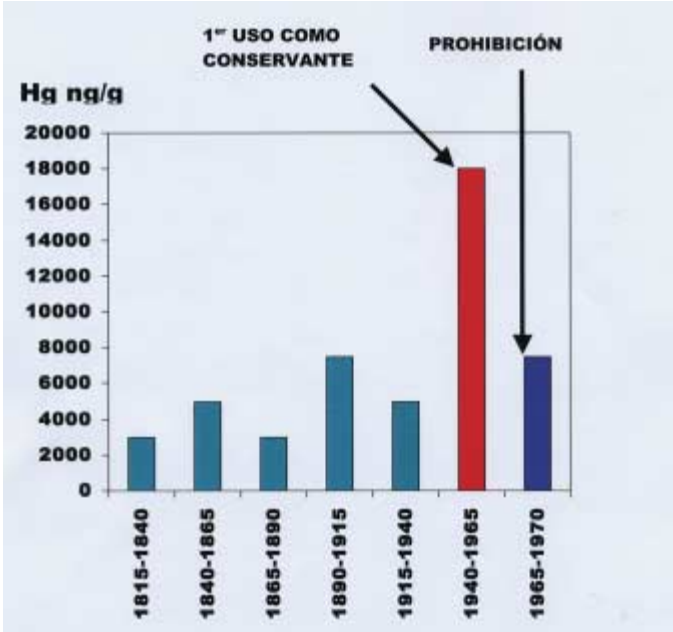


FIGURA 12. *Análisis de Hg por activación neutrónica de plumas de azor de museos, desde 1815 a 1970. La contaminación es debida al fenilmercurio.*

La técnica más reciente para reducir la contaminación de mercurio, aplicada por expertos de la Universidad de Florida, emplea luz ultravioleta y sílice. Fue ideada para tratar y reutilizar el agua que se encuentra a bordo de la estación espacial internacional (ISS), con el objetivo de sustituir el antiguo método basado en carbón activado. La sílice cuesta más que el carbón activado, pero se necesita una menor cantidad para hacer el mismo trabajo. Además, puede ser reutilizada, reduciendo aún más su coste. El mercurio capturado por la sílice puede ser asimismo reciclado para producir nuevos productos, como lámparas fluorescentes.

EL MERCURIO COMO TÓXICO OCUPACIONAL (21)

Los escritores de la edad media dan las primeras descripciones del efecto tóxico del sulfuro de mercurio, que se utilizaba como

pigmento rojo para la ilustración de textos. Los sombrereros, desde el siglo XVI hasta principios del siglo XX, sufrieron la toxicidad del nitrato de mercurio, que se empleaba para la fabricación del terciopelo a partir de pelo de conejo, lo que dio lugar al llamado eretismo mercurial, que produce locura, y que actualmente afecta a los taxidermistas. Otra profesión afectada, en este caso por el vapor de Hg, ha sido la de los dentistas, por la utilización de amalgamas de Hg, hoy día en desuso.

Las minas de cinabrio, que libera vapores de Hg, muy tóxicos (hidrargirismo); la exposición de los obreros en las fábricas de sodio y cloro, compuestos de gran producción, o en la fabricación de termómetros, barómetros, termostatos, trompas de vacío, tubos fluorescentes, lámparas de mercurio y baterías secas de larga duración; en la industria de pinturas (pigmento rojo), catalizadores, síntesis del ácido acético o en las de detonantes de cartuchos, donde se utiliza fulminato de Hg, muy absorbible, son también fuentes de contaminación y suponen un factor de riesgo para los trabajadores.

EL MERCURIO COMO TÓXICO IATROGÉNICO

La intoxicación de mercurio por medicamentos ya se encuentra referenciada desde muy antiguo (1.500 a.C.), pero desde donde tenemos constancia cierta es desde la utilización de antisifilíticos (benzoato de mercurio), cuyos casos más célebres de intoxicación son los de Mozart, Beethoven y Schubert (22).

Los derivados de mercurio utilizados actualmente en farmacia están restringidos casi exclusivamente a sus usos como antisépticos y se corresponden con los siguientes compuestos: Merbromina, Mercurocromo o mercurio rojo al 2 por 100; cianuro, ioduro, oxicianuro, óxido y cloruro de mercurio, y pueden producir cuadros clínicos, como el de la acrodinia (23), anteriormente comentado, que en bebes produce pérdida del tono muscular, que provoca raras posturas en la cuna. También se usa el estearato de mercurio como conservante.

TRATAMIENTO DE LA INTOXICACIÓN POR MERCURIO (24, 25)

La intoxicación aguda de vapores de mercurio puede ser tratada con BAL durante 4-10 días, penicilamina de 10-15 días más, corticoides y antibióticos para evitar infecciones secundarias. Si la intoxicación aguda es por ingestión de compuestos de Hg, es necesario un pronto lavado de estómago.

La intoxicación crónica debe ser tratada con quelatantes y dosis altas de complejo B, acompañado de una reducción en el consumo de tabaco y alcohol. En este caso hay algunos síntomas irreversibles, aunque mejoran.

CONCLUSIONES

El mercurio es un importante contaminante, tanto natural como antropogénico, aunque se encuentra en las cadenas tróficas en pequeñas concentraciones. El gran problema toxicológico que puede presentar el mercurio, dentro de la cadena alimentaria, puede ser debido a vertidos industriales que puedan contaminar a los ríos y ser concentrados por los peces, produciendo daños irreversibles en el ser humano.

El mercurio es, sobre todo, un tóxico ocupacional que afecta a diferentes profesiones como dentistas, trabajadores de fábricas, taxidermistas, científicos que trabajan con aparatos de mercurio, mineros, etc., y produce enfermedades profesionales con cuadros clínicos muy definidos, debiendo prestar especial atención a las trabajadoras embarazadas por sus efectos teratógenos.

BIBLIOGRAFÍA

(1) BRUCE KING R. (1997) Encyclopedia of Inorganic Chemistry. Ed. John Wiley and Sons. Sussex.
(2) Properties of Inorganic Compounds (1997). CRC Press.
(3) WENDDROFF, A. P. (1990) *Nature*, 347, 623.
(4) OCHIAI, E. (1985) Química Bioinorgánica. Ed. Reverté. Cap. 12, pág. 309.
(5) OMS (1991) Inorganic mercury. *Environmental Health Criteria*. 118. Ginebra.

(6) OMS (1991) Mercury. *Environmental Health Criteria*. 1. Ginebra.
(7) OMS (1991) Methylmercury. *Environmental Health Criteria*. 101. Ginebra.
(8) SMITH, D.; SCURRY, J. (1990) Topical mercurials. *J. Am. Acad. Dermatol*. 25, 1097.
(9) ASCHNER, M.; ASCHNER, J. L. (1990) Mercury neurotoxicity: mechanisms of blood-brain barrier transport. *Neurosci. Biobehav. Rev*. 14, 169.
(10) SUZUKI, T.; HONGO, T.; MATSUO, N.; IMAI, H.; NAKAZAWA, M.; ABE, T.; YAMAMURA, Y.; YOSHIDA, M.; AOYAMA, H. (1992) An acute mercurio mercury poisoning: chemical speciation of hair mercury shows a peca of inorganic mercury value. *Hum. Exp. Toxicol*. 11, 53 (1992).
(11) SEATON, A.; BISHOP, C. (1978) Acute mercury pneumonitis. *Br. J. Ind. Med*. 35, 258.
(12) PULLICINO, V. N.; TAYLOR, D. N.; PATRICK, J. D. (1985) Multiple metallic mercury emboli. *Br. J. Radiol*. 58, 470.
(13) MCLAUCHLAN, G. A. (1991) Acute mercury poisoning. *Anaesthesia*. 46, 110.
(14) LONGLEY, E. O.; BARNES, R., JONES, A. (1968) Mercurialism. *Med. Trial. Tech. Q*. 15, 29.
(15) BARBER, T. E. (1978) Inorganic mercury intoxications reminiscent of amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of Occupational Medicine*. 20, 667.
(16) GEBAUER, K.; CONNOR, B. (1991) Cutaneous mercury granuloma. *Australas. J. Dermatol*. 32, 129.
(17) SUTTON, R. (1981) The pink disease. *A case report*. Cutis. 27, 169 (1981).
(18) WORLD HEALTH ORGAN (1974) Conference on intoxicacion due to alkymercury treated seed. Baghadad, Iraq. 91.
(19) FITZGERALD, D. F., CALRKSON, T. W. (1991) Mercury and nomethylmercury: present and future concerns. *Environ. Health Perspect*. 96, 139.
(20) HARADA, M. (1972) Clinical study of Minamata disease progressing over a long period of time. Seishin, Shinkeigaku. Zasshi. 75, 667.
(21) HANSON, M., PIEVA, J. (1991) The dental amalgam issue. A review. *Experientia*. 47, 9.
(22) SCHEIDT, W. (1967) Quecksilbervergiftung bei Mozart, Beethoven und Schubert. *Med. Klin*. 62, 195.
(23) SCHONE, D.; WASSER, S.; POLSTER, H. (1970) Zun Krankheitsbild der Akrodynie. Kinderarztl-Prax. 38, 390.
(24) FERGUSON, C. L., CANTILENA, L. R. (1992) Mercury clearance from human plasma during in vitro dialysis: screening systems for chelating agents. *J. Toxicol. Clin. Toxicol*. 30, 423.
(25) MANN, K. V., TRAVERS, J. D. (1991) Succimer, an oral local chelator. *Clin. Pharm*. 10, 914.