



Trascendencia del metilmercurio en el ambiente, la alimentación y la salud humana

Daniel Esteban León Perez¹ / Gustavo Antonio Peñuela Mesa²

***Transcendence of methylmercury in
the environment, in food and human health***

***Transcendência do metil-mercúrio no ambiente,
a alimentação e a saúde humana***

RESUMEN

La exposición al mercurio es un peligro para la salud cada vez más latente. Estudios recientes muestran que la exposición puede ocurrir en el ambiente, en los entornos laborales y en los domésticos. Los niños y gestantes particularmente son más vulnerables al mercurio. Se han demostrado efectos como el deterioro del desarrollo del sistema nervioso central, así como a daño pulmonar y renal, entre otros. La especiación orgánica del mercurio es considerada de mayor toxicidad que en su forma elemental; y el metilmercurio es la fuente más común de exposición a través del consumo de alimentos contaminados, principalmente en productos pesqueros. Este compuesto es altamente tóxico por su acumulación en el tejido nervioso, lo que ha hecho de este tipo de intoxicación un problema de salud pública.

La población en general está expuesta a metilmercurio a través del consumo de pescado contaminado y otros tipos de alimentos. Estudios recientes reportan altos niveles de metilmercurio en arroz. Las principales fuentes de mercurio al ambiente, son antropogénicas y se deben al uso del metal en la minería de oro, el consumo de combustibles fósiles y, en menor medida la actividad industrial. Cuando el mercurio ingresa al ambiente, es especiado a través de bacterias en forma de compuestos orgánicos y presenta bioacumulación y biomagnificación en la cadena

¹Ingeniero de Alimentos, estudiante de doctorado en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación – GDCON, Universidad de Antioquia. ²Químico, Magíster en Ciencias Químicas, doctor en Química Ambiental. Coordinador Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación – GDCON, Universidad de Antioquia

Correspondencia: Daniel Esteban León Perez, e-mail: daniellestebanleon@yahoo.com

Artículo recibido: 15/10/011; Artículo aprobado: 12/11/2011

alimentaria. Este ensayo trata de dar a conocer al lector la problemática evidente que genera el mercurio en el ambiente y sus posibles repercusiones en la salud de las personas.

Palabras clave: mercurio, metilmercurio, pescado, minería aurífera, especiación, toxicología

ABSTRACT

Exposition to mercury is a growing peril for health worldwide. Recent studies show that the exposition to this metal can occur in the environment, and in labor or domestic places. Children and pregnant women are particularly more vulnerable to mercury intoxication. Effects such as deterioration of the central nervous system and lungs or kidneys damages, among others, have been demonstrated. The organic speciation of this metal is considered as even more toxic than its basic form, and methylmercury is the most common exposition source, because the consumption of contaminated food, especially fish. This compound is very toxic given its accumulation in the nervous system's tissues, so, as an intoxication cause, it has become a public health problem many decades ago. Population in general is exposed to this contamination through consuming contaminated fish and other foods. Recent studies have reported high methylmercury contents in rice from contaminated areas, for instance. The main sources of mercury in the environment are anthropogenic, and they are due to the wrong use of this metal by people. Mercury is emitted to environment by gold miners, fossil fuel consumers and, in a lower proportion, industries. When mercury goes back to the environment, speciation processes take place due to bacteria, that turn it into organic compounds like the methylmercury mentioned before, and phenomena such as bioaccumulation and biomagnifications occur in food chains. This essay informs about the evident problem this compound brings to the environment and its possible effects on human health.

Key words: mercury, methylmercury, fish, gold mining, speciation, toxicology.

RESUMO

A exposição ao mercúrio é um perigo para a saúde cada vez maior em todo mundo. Estudos recentes mostram que a exposição a este metal pode ocorrer no ambiente, nos meios trabalhistas e nos domésticos. Os meninos e gestantes particularmente são mais vulneráveis à intoxicação por mercúrio. Demonstraram-se efeitos por sua exposição que podem conduzir à deterioração do desenvolvimento do sistema nervoso central, bem como a dano pulmonar e nefrótico, entre outros. A especiação orgânica deste metal é considerada mais tóxica do que em sua forma elementar; e o metil-mercúrio é a fonte mais comum de exposição, pelo resultado do consumo de alimentos contaminados, principalmente por produtos pesqueiros. Este composto é altamente tóxico por sua facilidade de acumulação nos tecidos do sistema nervoso, o que fez deste tipo de intoxicação um problema de saúde pública desde faz muitas décadas. A população em general está exposta a esta contaminação através do consumo de pescado contaminado e outros tipos de alimentos. Estudos recentes reportaram altos níveis de metil-mercúrio, inclusive em arroz cultivado em áreas contaminadas com mercúrio. As principais fontes de mercúrio ao ambiente, telefonemas antropogênicas, são devidas ao uso do metal pelo homem; só citando as categorias de maior impacto de descarga de mercúrio no ambiente se mencionam a mineração de ouro, o consumo de combustíveis fósseis e, em menor medida, a indústria. Quando o mercúrio ingressa ao ambiente, sofre processos de especiação através de bactérias que o transformam em compostos orgânicos como o mencionado metil-mercúrio e apresenta fenômenos de bioacumulação e biomagnificação na corrente alimentaria. Este ensaio trata de dar a conhecer ao leitor a problemática evidente que gera este ambiente e suas possíveis repercussões na saúde das pessoas.

Palavras importantes: mercúrio, metil-mercúrio, pescado, mineração aurífera, especiação, toxicologia

INTRODUCCIÓN

El mercurio (Hg) es un metal que en concentraciones de traza es altamente tóxico e impactante para los ecosistemas y para los seres humanos¹. Este metal es fácilmente metilado por microorganismos, se bioacumula en la biota y se biomagnifica en la cadena alimentaria². El Hg existe en diferentes formas

físicas y químicas con una gran variedad de propiedades que determinan su compleja distribución, su enriquecimiento biológico y su toxicidad. Las formas químicas más importantes son el mercurio elemental (Hg^0), el mercurio inorgánico (Hg^{2+}), sus formas orgánicas como el catión metilmercurio (MeHg , CH_3Hg^+) y el dimetilmercurio (DMHg , CH_3HgCH_3). En su ciclo geoquímico las anteriores especies se intercambian entre ambientes atmosféricos, acuáticos y terrestres; adicionalmente, se han considerado como un peligro ambiental y para el hombre

Entre las intoxicaciones más referenciadas, esta la intoxicación masiva por la descarga de mercurio en una planta de acetaldehído en Minamata (Japón) en la década de 1950, y la sucesiva ingesta de mariscos y pescados contaminados a lo largo del río Agano, Niigata, Japón, en la década de 1960; además, es importante referenciar el uso de mercurio como fungicida en Irak entre 1971 y 1972, en donde se generó un envenenamiento por el consumo de pan fabricado con granos tratados con organomercuriales³⁻⁵. La contaminación por mercurio se reconoce como un problema ambiental geográficamente extendido y persistente.

El mercurio y sus compuestos son considerados contaminantes prioritarios en la Unión Europea (UE), en las regulaciones (incluida la Directiva del Marco del Agua), en el Convenio OSPAR, para el PNUMA⁶ y para las agencias y ministerios de ambiente en el mundo. La Comisión Europea en el 2005 adoptó una estrategia comunitaria⁵ con el objetivo de reducir los niveles de mercurio en el ambiente y la exposición humana, especialmente el debido al metilmercurio en alimentos acuáticos.

La principal vía de exposición de mercurio a los seres humanos es a través del consumo de productos de la pesca marina (peces, moluscos y crustáceos). En la mayoría pescados y productos pesqueros, el Hg se encuentra principalmente en la forma inorgánica y en concentraciones bajas ($<20 \text{ ng / g}$)⁷; sin embargo, se ha encontrado concentraciones de metilmercurio en niveles superiores a 1200 ng/g en partes comestibles de tiburón, pez espada y atún; asimismo, se ha encontrado en peces de agua dulce. Cabe destacar que los efectos tóxicos del Hg dependerán de la forma química en la que se encuentre, siendo los el metilmercurio (MeHg) más tóxicos que el mercurio elemental y sus sales inorgánicas, ya que es absorbido eficientemente en el tracto gastrointestinal, pasa de la sangre al cerebro y traspasa la barrera de la placenta, afectando el sistema nervioso central causando daños irreversibles.

Interacciones entre el mercurio y el ambiente

Recientes estudios ilustran al respecto de las diferentes reacciones de la incorporación del Hg de origen antropogénico al ambiente; para lo cual se han empleado técnicas analíticas de alta resolución y propuestas de especiación, que han mejorado considerablemente el conocimiento sobre el ciclo bio-geoquímico del de éste. Las principales vías de transformación han sido identificadas (Fig. 1), aunque se mantiene la incertidumbre sobre los mecanismos de reacción y / o especies biológicas implicadas en la interconversión.

A pesar de que todas las formas de Hg son venenosas, los efectos ecológicos y humanos generalmente están relacionados con transformaciones ambientales. El Hg elemental y algunos de sus compuestos se utilizan en la minería de pequeña escala de oro (Au) y plata (Ag), en la producción cloroalcali, en la producción de monómeros de cloruro de vinilo, en la fabricación de productos como manómetros, termómetros, interruptores eléctricos, lámparas fluorescentes, amalgamas dentales, baterías, productos farmacéuticos, pinturas y reactivos de laboratorio, entre otros⁹.

Cabe resaltar que una vez que los vapores de Hg entran en la atmósfera, persisten durante aproximadamente 1 año y se convierte lentamente en óxidos de por los procesos oxidativos; los cuales son devueltos a la superficie de la tierra en el agua de lluvia y puede ser enriquecer los materiales geológicos en la corteza terrestre, tales como el cinabrio, metales no ferrosos y los yacimientos de carbón¹⁰. Los sitios contaminados por mercurio representan una fuente importante de emisión de Hg

a la atmósfera debido a la volatilización de este metal; además, algunos sitios contaminados también representan una fuente importante para el movimiento transfronterizo de Hg, a través de los ciclos hidrológicos, particularmente en las cuencas de grandes ríos y zonas costeras contaminadas; por lo tanto, los ciclos biogeoquímicos de Hg en sitios contaminados son un área de investigación prioritaria de las ciencias ambientales.

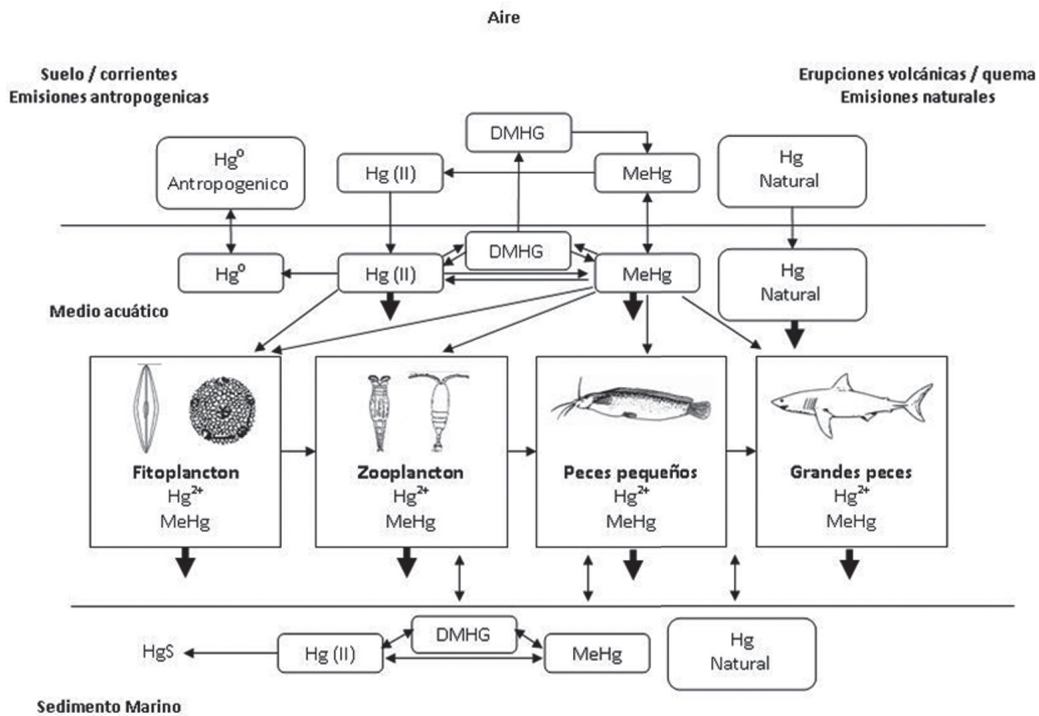


Figura I. Transformación del mercurio en el medio acuático

Fuente: adaptado de Leermakers⁸

Minería de oro

La extracción de oro es una importante actividad económica en muchos países en desarrollo, proporciona grandes ingresos económicos¹¹. Esta minería varía de acuerdo con el tipo de las técnicas de extracción empleada, generalmente rudimentarias y fundamentadas en el método de amalgamación con mercurio¹². Esta metodología se utiliza por ser rápida, sencilla y económica para extraer las partículas de oro. Las liberaciones de mercurio por esta actividad van directamente al aire, ya que la minería artesanal se realiza a cielo abierto y escorias y demás residuos van a fuentes hídricas y/o al suelo, magnificando la problemática ambiental, y solo una considerable proporción tiene un manejo final adecuado. El mal uso de mercurio en la extracción aurífera ha contaminado muchos sitios con efectos que se extienden más allá de la degradación ecológica localizada, y representa un riesgo a largo plazo para la salud de las personas circundantes. Un estimado de 300 toneladas de mercurio se volatiliza directamente a la atmósfera por año, mientras que 700 toneladas son dados de alta en desechos de minería en el suelo, ríos y lagos.

En las últimas décadas, los organismos internacionales e instituciones gubernamentales han orientado sus investigaciones sobre los problemas de salud asociados con la minería artesanal y orientadas a

fortalecer la educación y la mitigación de los impactos: En Colombia, el cual el conflicto armado representa un factor fomentador de la minería artesanal y su predominantes impactos ambientales en zonas no destinadas para tal fin^{13, 14}.

Entre los impactos ambientales asociados a la actividad de la minería incluyen la desviación de ríos, la sedimentación del agua, la degradación del paisaje, la deforestación, la destrucción del hábitat de la vida acuática y la contaminación por mercurio¹⁵. Los impactos directos de este tipo de minería en la salud humana incluyen intoxicación aguda por Hg, silicosis, daños neurológicos y renales, trastornos cardiovasculares y respiratorios, así como lesiones y muertes por deslizamientos, derrumbes de los entables mineros, y el agotamiento físico crónico¹⁶⁻¹⁸.

Habitualmente se quema la amalgama en una sartén o en una pala en hogueras al aire libre y a veces con un soplete de propano; representando un serio riesgo para la salud por la inhalación de los vapores de Hg. Debido a estas técnicas, en muchas regiones, se estima que se utilizan dos a tres gramos de mercurio por cada gramo de oro recuperado¹⁹⁻²¹. Si se utiliza directamente el Hg para extraer el oro de la mena sin ningún otro dispositivo de recuperación (como el uso de retortas, impulsado por los proyectos de minería más limpia), la proporción de Hg que se libera por oro que se extrae es probable mayor; incluso se ha reportado hasta 17 g en algunas regiones.

Toxicidad del metilmercurio

El metilmercurio (MeHg) es un tóxico potente. Desde el primer reporte de envenenamiento en Minamata (Japón), la toxicidad del MeHg ha sido investigada en todo el mundo. A mediados del siglo XIX, se sintetizó el MeHg en forma de dimetilmercurio; sin embargo, la exposición humana se produce casi exclusivamente por el consumo de pescado y mamíferos marinos y en algunas regiones el consumo de pescado constituye un factor vital para la dieta de muchas comunidades²².

El MeHg se origina por metilación del mercurio inorgánico por los microorganismos presentes en los sedimentos. Se somete a un notable proceso de biomagnificación y se acumula en el tejido muscular de pescados y de especies de larga vida acuática. El grado de biomagnificación depende de la ubicación de las especies en la cadena alimentaria; por ejemplo, en peces herbívoros de arrecife sin contaminación pueden tener concentraciones de MeHg tan bajo como 0,01 g/g, mientras que los tiburones pueden llegar a niveles tan altos como 4 mg/g. Los niveles máximos de concentración recomendados por el comité de expertos en aditivos alimentarios de la organización para la alimentación y la agricultura-FAO y la organización mundial de la salud-OMS²³ son de 1,0 mg/g para peces depredadores y de 0,5 mg/g para otros productos pesqueros; en general, estas directrices han sido adoptadas por la mayoría de países.

El mecanismo de acción del MeHg en tejidos se asocia a su reacción con el grupo tiol de los residuos de cisteína presentes en las proteínas²⁴. Aunque los peces son la principal fuente de metilmercurio en la dieta humana, algunos artículos reportan su presencia en otras matrices alimentarias como el arroz²⁵⁻²⁷, las carnes de animales²⁸⁻²⁹. En general, las concentraciones de Hg en la mayoría de los productos alimenticios están por debajo de 20 ng/g. Recientes estudios reportan altos niveles de metilmercurio (144 ng/g) en el arroz²⁵ producido en la zona de Qingzhen y Wanshan, zona minera de mercurio en la provincia de Guizhou, China.

Muchos estudios experimentales sobre la absorción gastrointestinal de MeHg indican que casi el 100% del MeHg en el pescado se absorbe; sin embargo, se ha demostrado que puede haber una variabilidad entre distintos animales y factores toxicocinéticos en humanos³⁰. Se sugiere que las diferencias en la dieta y / o las funciones metabólicas pueden influir en la absorción de MeHg y / o su excreción [30]. El MeHg tiene una vida media relativamente larga entre 70 y 80 días en el cuerpo humano y es transportado fuera de los hepatocitos en la bilis como complejo con el glutatión³¹. Estas vías de transporte también desempeñan un papel clave en su eliminación del cuerpo, ya que aproximadamente el 90% de la dosis absorbida de MeHg en humanos se excreta en las heces como mercurio elemental.

Dado que los principales efectos adversos de la exposición al MeHg son neurológicos, es importante resaltar que la contaminación por este compuesto tiene implicaciones de tipos renal, cardiovascular, reproductivo, y notables efectos en el sistema inmunológico. El cerebro y el sistema nervioso son los tejidos de mayor exposición a los efectos del MeHg en adultos y niños; entre se destacan perturbación distal sensorial, constricción del campo visual, ataxia, disartria, trastornos auditivos y temblores^{32, 33}; por su parte la OMS estima que el 5% de los adultos expuestos al MeHg que experimentan efectos neurológicos poseen niveles de mercurio en sangre de 200 mg/L y se ha estimado que el riesgo de daño cerebral del feto aumenta cuando la concentración de Hg en el pelo de la madre supera los 10-20 g/g³².

Disposición en el cuerpo

Los parámetros de la absorción, distribución y excreción del MeHg en los seres humanos están suficientemente descritos y los niveles medios en sangre y en el pelo son indicadores de la ingesta diaria e incluso se correlacionan para estimar los niveles de bioacumulación y la ingesta diaria admisible para que no se presenten niveles de efectos adversos en la sangre y el cabello³⁴.

Estudios experimentales reportados por OMS entre los años de 1970 y de 1980 determinaron que cerca del 95% de MeHg ingerido en el pescado se absorbe en el torrente sanguíneo, su completa distribución por el torrente toma entre 30 y 40 h, alrededor del 5% de la dosis absorbida se mantiene en el torrente sanguíneo y la concentración en el cerebro es aproximadamente 5 veces, y en el cabello 250 veces a la concentración en la sangre. La concentración de MeHg se relaciona con la tasa de crecimiento del cabello; de igual forma, hay menos información del paso de MeHg durante la gestación.

Las primeras teorías sobre la dinámica del MeHg en el cuerpo se atribuían su paso a través de la barrera hematoencefálica y de la placenta, y a su liposolubilidad. Pero en realidad está asociada a su carácter catiónico, lo cual aumenta su solubilidad en agua, y su movilidad a través de la formación de complejos tisulares, por la unión a grupos tiol de las proteínas, péptidos y aminoácidos. Se ha demostrado que su ingreso a las células endoteliales se hace por la formación de un complejo con cisteína³⁵; de igual forma, se ha propuesto que el complejo metilmercurio-cisteína se transporta a través de la membrana celular, ya que la estructura de este compuesto se asemeja a la de la metionina (figura 2) y su intestinal probablemente se lleva a cabo por el mismo mecanismo³⁶.

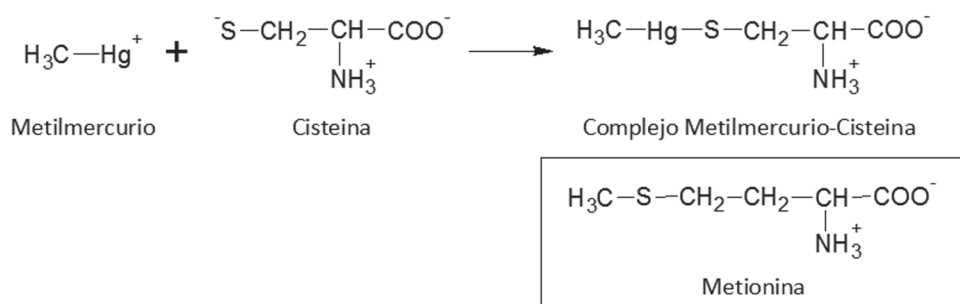


Figura 2. El catión metilmercurio se adhiere a la ligando tiol de la cisteína, para formar un complejo que imita la estructura de la metionina

Fuente: elaboración propia

La principal vía de excreción es a través de las heces, lo que representa hasta un 90% de la excreción total. El complejo de metilmercurio-glutatión, después de la secreción en la bilis, es descompuesto por las enzimas extracelulares en sus componentes, liberando así el metilmercurio acomplejado con

cisteína, que a su vez se reabsorbe en el torrente sanguíneo y en las zonas más distales del tracto gastrointestinal^{37,38}. De igual forma, algunas moléculas pueden persistir en el tracto intestinal entrando en contacto con la microflora intestinal, la cual rompe el enlace carbono-mercurio y libera el mercurio inorgánico para su eliminación en las heces, disminuida bajo la influencia por antibióticos y favorecida por una dieta rica en fibra³⁹. La metilación del mercurio inorgánico no parece tener lugar de forma significativa en los tejidos humanos o animales, incluso en personas expuestas a altos niveles de vapores de mercurio⁴⁰.

CONCLUSIÓN

La toxicidad por la exposición al mercurio es función de la concentración, del tiempo de exposición, de la vía de exposición y de la especie química formada. Las formas orgánicas como el metilmercurio, son las asociadas a mayor variedad de efectos adversos para la salud humana. Si atendemos la expresión del médico suizo Teofrasto Paracelso, "Todas las sustancias son venenos; no hay ninguna que no sea un veneno", para el mercurio y sus derivados no es atribuible ningún tipo de consideración para su uso. De igual forma, los organomercuriales no se utilizan ni se obtienen por síntesis química para un fin específico; por tal motivo no es deseado señalar a los alimentos acuáticos como medio de intoxicación por este tipo de contaminantes, ya que su consumo hace parte fundamental de una dieta rica en nutrientes esenciales óptimos para el desarrollo de los niños y para una alimentación balanceada en adultos. Ciertamente podemos afirmar que la exposición a todas las formas de mercurio se debe evitar en la medida de lo posible y mientras el mercurio constituya la corteza de la tierra, la exposición es inevitable.

REFERENCIAS

1. FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, R. and RUCANDIO, M. I. Study of the suitability of HNO and HCl as extracting agents of mercury species in soils from cinnabar mines. *En: Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2005. Vol. 381, No. 8. p. 1499-506.
2. BUSTAMANTE, P.; et al. Total and organic Hg concentrations in cephalopods from the North Eastern Atlantic waters: Influence of geographical origin and feeding ecology. *In: Science of The Total Environment*. 2006. Vol. 368, No. 2-3. p. 585-96.
3. D'ITRI FM. Mercury contamination-what we have learned since Minamata. *En: Environmental Monitoring and Assessment*. 1991. Vol. 19, No. 1. p. 165-82.
4. ETO, K. Minamata disease. *En: Neuropathology*. 2000. Vol. 20. p. 14-19.
5. COMMUNITIES COTE. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT. Community Strategy Concerning Mercury. [En línea]. 2005 [Citado el 21 de octubre de 2011]. Url disponible en: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2005/com2005_0020en01.pdf.
6. Programme UNE. Reducing Risk from Mercury. [En línea]. 2010 [Citado el 21 de octubre de 2011]. Url disponible en: <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/tabid/434/language/en-US/Default.aspx>.
7. ORGANIZATION WH. Environmental Health Criteria 101. [En línea]. Geneva: International Programme on Chemical Safety, 1990 [Citado el de octubre de 2011]. Url disponible en: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm>.
8. LEERMAKERS, M.; et al. Mercury in environmental samples: Speciation, artifacts and validation. *En: TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2005. Vol. 24, No. 5. p. 383-393.

9. HYLANDER, L. D. Environmental costs of mercury pollution. En: Science of The Total Environment. 2006. Vol. 368, No. 1. p. 352-70.
10. FENG, X. and BIGHAM, G. N. Mercury biogeochemical cycling in mercury contaminated environments. En: Applied Geochemistry. 2011. 26, No. 2. p. 153.
11. HINTON, J. Communities and small scale mining: an integrated review for development planning. [En línea]. Washington D. C.: [s.n], 2006. [Citado el 1 de noviembre de 2011]. Url disponible en: [http://www.globalmercuryproject.org/database/Upload/Communities%20and%20ASM%20\(Hinton,%202005%20second%20draft\).pdf](http://www.globalmercuryproject.org/database/Upload/Communities%20and%20ASM%20(Hinton,%202005%20second%20draft).pdf).
12. SPIEGEL, S. J.; *et al.* Reducing mercury and responding to the global gold rush. En: The Lancet. 2005. Vol. 366, No. 9503. p. 2070-2072.
13. SPIEGEL, S. and VEIGA, M. Global impacts of mercury supply and demand in small-scale gold mining. Report to the UNEP Governing Council Meeting. [En línea]. 2006. [Citado el 1 de noviembre de 2011]. Url disponible en: <http://www.chem.unep.ch/mercury/partnerships/2006%20GMP%20Report%20to%20UNEP%20GC24.pdf>.
14. VEIGA, M. M.; *et al.* Manual for training artisanal and small-scale gold miners. Removal of Barriers to Introduction of Cleaner Artisanal Gold Mining and Extraction Technologies. [En línea]. 2006 [Citado el 1 de noviembre de 2011]. Url disponible en: http://142.103.159.167/documents/non_country%20specific/training%20manual%20for%20miners%20Marcello%2015.pdf.
15. MOL, J. H. and OUBOTER, P. E. Downstream Effects of Erosion from Small-Scale Gold Mining on the Instream Habitat and Fish Community of a Small Neotropical Rainforest Stream. En: Conservation Biology. 2004. Vol. 18, No. 1. p. 201-14.
16. HINTON, J. J.; VEIGA, M. M. and VEIGA, A. T. Clean artisanal gold mining: a utopian approach?. En: Journal of Cleaner Production. 2003. Vol. 11, No. 2. p. 99-115.
17. SADIA MOHAMMED, B. Challenges with eradicating illegal mining in Ghana: A perspective from the grassroots. En: Resources Policy. 2008. Vol. 33, No. 1. p. 29-38.
18. SAMUEL, J. S. Socioeconomic dimensions of mercury pollution abatement: Engaging artisanal mining communities in Sub-Saharan Africa. En: Ecological Economics. 2009. Vol. 68, No. 12. p. 3072-3083.
19. LACERDA, L. D. Global mercury emissions from gold and silver mining. En: Water, Air, and Soil Pollution. 1997. Vol. 97, No. 3-4. p. 209-21.
20. VEIGA, M. M. and HINTON, J. J. Abandoned artisanal gold mines in the Brazilian Amazon: A legacy of mercury pollution. En: Natural Resources Forum. 2002. Vol. 26, No. 1. p. 15-26.
21. PASSOS, C. J. and MERGLER, D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: A review. En: Cadernos de Saude Publica. 2008. Vol. 24, Suppl. 4. p. 503-520.
22. MERGLER, D.; *et al.* Methylmercury Exposure and Health Effects in Humans: A Worldwide Concern. En: AMBIO: A Journal of the Human Environment. Febrero 2007. Vol. 36, No. 1. p. 3-11.
23. ORGANIZATION WH. Evaluation of certain food additives and contaminants. [En línea]. Geneva: [s.n], 2004. [Citado el 1 de noviembre de 2011]. Url disponible en: http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_922.pdf.
24. HARRIS, H. H.; PICKERING, I. J. and GEORGE, G. N. The Chemical Form of Mercury in Fish. En: Science. August 2003. Vol. 301, No. 5637. p. 1203.
25. HORVAT, M.; *et al.* Total mercury, methylmercury and selenium in mercury polluted areas in the province Guizhou, China. En: Science of The Total Environment. 2003. Vol. 304, No. 1-3. p. 231-256.
26. QIU, G.; *et al.* Methylmercury Accumulation in Rice (*Oryza sativa* L.) Grown at Abandoned Mercury Mines in Guizhou, China. En: Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008. Vol. 56, No. 7. 2465-2468.

27. FENG, X.; *et al.* Human Exposure To Methylmercury through Rice Intake in Mercury Mining Areas, Guizhou Province, China. En: Environmental Science & Technology. 2007. Vol. 42, No. 1. p. 326-32.
28. YSART, G.; *et al.* UK Total Diet Study dietary exposures to aluminium, arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel, selenium, tin and zinc. En: Food Additives and Contaminants. 2000. Vol. 17, No. 9. p. 775-786.
29. LINDBERG, A.; *et al.* Exposure to methylmercury in non-fish-eating people in Sweden. En: Environmental Research. 2004. Vol. 96, No. 1. p. 28-33.
30. CANUEL, R.; *et al.* New Evidence on Variations of Human Body Burden of Methylmercury from Fish Consumption. En: Environ Health Perspect. 2006. Vol. 114, No. 2.
31. BALLATORI, N.; GATMAITAN, Z. and TRUONG, A. T. Impaired biliary excretion and whole body elimination of methylmercury in rats with a congenital defect in biliary glutathione excretion. *Hepatology*. 1995. Vol. 22, No. 5. p. 1469-1473.
32. HARADA, M. Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution. En: Critical Reviews in Toxicology. 1995. Vol. 25, No. 1. p. 1-24.
33. CLARKSON, T.W.; MAGOS, L. and MYERS, G. J. The Toxicology of Mercury — Current Exposures and Clinical Manifestations. En: New England Journal of Medicine. 2003. Vol. 349, No. 18. p. 1731-7.
34. RICE, D. C.; SCHOENY, R. and MAHAFFEY, K. Methods and Rationale for Derivation of a Reference Dose for Methylmercury by the U.S. EPA. En: Risk Analysis. 2003. Vol. 23, No. 1. p. 107-115.
35. KERPER, L. E.; BALLATORI, N. and CLARKSON, T.W. Methylmercury transport across the blood-brain barrier by an amino acid carrier. En: American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. May 1992. Vol. 262, No. 5. R761-R5.
36. LEANER, J. J. and MASON, R. P. Methylmercury accumulation and fluxes across the intestine of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. En: Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 2002. Vol. 132, No. 2. p. 247-259.
37. DUTCZAK, W. J. and BALLATORI, N. Transport of the glutathione-methylmercury complex across liver canalicular membranes on reduced glutathione carriers. En: Journal of Biological Chemistry. April 1994. Vol. 269, No. 13. p. 9746-9751.
38. DUTCZAK, W. J.; CLARKSON, T.W. and BALLATORI, N. Biliary-hepatic recycling of a xenobiotic: gallbladder absorption of methyl mercury. En: American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology. June 1991. Vol. 260, No. 6, G873-G880.
39. ROWLAND, I. R.; *et al.* The effect of various dietary fibres on tissue concentration and chemical form of mercury after methylmercury exposure in mice. En: Archives of Toxicology. 1986. Vol. 59, No. 2. p. 94-98.
40. BARREGARD, L.; HORVAT, M. and SCHUTZ, A. No Indication of in Vivo Methylation of Inorganic Mercury in Chloralkali Workers. En: Environmental Research. 1994. Vol. 67, No. 2. p. 160-167.