

Biomarcadores de mercurio y su relación con la edad, en Bogotá, 2014

Mercury Biomarkers and Age in Bogotá, 2014

Biomarcadores de Mercúrio e a Sua Relação com a Idade, Bogotá, 2014

Alejandra del Pilar Díaz Gómez¹
Yady Cristina González Álvarez²
Diana María Pérez Castiblanco²
Jesús Antonio Reyes Calderón²
Luz Adriana Ruiz Pérez²
María Zaideé Barbosa-Devia²

Aportes de los autores: desarrollo de protocolo de investigación y redacción del manuscrito: Yady González, Diana Pérez, Luis Hernández, María Zaideé Barbosa y Jesús Reyes; trabajo de campo: Diana Pérez y Samuel García. Procesamiento de muestras: Nancy Patiño y Adriana Ruiz. Análisis e interpretación de resultados: Alejandra Díaz, Samuel García, Yady González, Diana Pérez, Luis Hernández, María Zaideé Barbosa, Jesús Reyes y Rodrigo Sarmiento. Procesamiento estadístico de datos: Jesús Reyes.

Resumen

Introducción: El mercurio se encuentra en forma natural o antrópica, con capacidad de acumularse en el organismo (bioacumulación) y concentrarse en las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en peces. **Materiales y métodos:** Estudio descriptivo, análisis secundario de biomarcadores de mercurio y su relación con la edad, a partir del estudio "Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013". **Resultados:** Participaron 401 personas; el promedio de edad fue de 46,5 años; el 74,8 % fueron mujeres. Los valores promedio de concentración de mercurio fueron 0,294 µg/L en orina, 3,127 µg/L en sangre y 1,003 µg/g en cabello. La prevalencia general de personas con niveles que superaron los valores límite de referencia internacional dados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA), para mercurio fue de 13,5 %. Se presentó correlación positiva entre la edad y las concentraciones de mercurio en sangre y en cabello, $p < 0,05$. **Discusión:** Al encontrar el aumento de la edad con el incremento de los niveles de mercurio en sangre y cabello puede explicarse por el proceso conocido como bioacumulación; aunque el cuerpo humano está diseñado para eliminar de manera natural contaminantes como el mercurio, dicha eliminación es muy lenta, y con el paso de los años el cuerpo se satura y supera la capacidad del organismo. Debe fortalecerse el desarrollo de sistemas de vigilancia epidemiológica que permitan avanzar en la detección temprana de posibles casos de intoxicación derivados de la exposición ambiental a mercurio.

Palabras clave: mercurio, bioacumulación, biomarcadores

1 Línea de Seguridad Química, Área de Vigilancia en Salud Pública, Secretaría Distrital de Salud. Bogotá, Colombia.

2 Línea de Seguridad Química, Área de Vigilancia en Salud Pública Ambiental. Dirección de Salud Pública Hospital Vista Hermosa Nivel I ESE. Bogotá, Colombia.

Abstract

Introduction: Mercury is a heavy metal released naturally and anthropically in the environment; it may change by microbial metabolism and become methyl-mercury accumulated within the organisms (bioaccumulation) and concentrated within food chains (biomagnification), especially fish. Due to bioaccumulation, its elimination over time is more difficult and slower because the system is saturated exceeding the removal ability of the organism. **Materials and methods:** A descriptive study and a secondary analysis of mercury biomarkers related to age from the study “Prevalence of mercury and lead in general population of Bogota 2012/2013”. **Results:** Measurements were made with 401 people, whose average age was 46.5 years; 74.8 percent women. The mean values of Hg concentration, 0.294 µg/L in urine; 3.127 µg/L in blood; 1.003 µg/g in hair. Overall prevalence of people with levels exceeding the international reference limit values given by WHO and EPA for Hg was 13.5 percent. There was a positive correlation between age and Hg concentrations in blood and hair, $P < 0.05$. **Discussion:** Hg-increased levels found in blood and hair related to the increased age can be explained by bioaccumulation process since the human body has been created to remove naturally contaminants such as Hg, and this is very slow and over time the body saturates exceeding the ability to remove them. Therefore, the development of epidemiological monitoring systems should be strengthened to allow a timely exposure of probable events of intoxication caused by environmental Hg exposure, whose emphasis should be on the most vulnerable population.

Keywords: biomarkers, bioaccumulation, mercury (MeSH).

Resumo

Introdução: O mercúrio encontra-se presente no ambiente de forma natural ou antrópica; este pode mudar por metabolismo microbiano e se converter em metil-mercúrio com capacidade de se acumular nos organismos (bioacumulação) e se concentrar na cadeia alimentar (bio-magnificação), especialmente em peixes. Devido à bioacumulação, sua eliminação com o andar do tempo é mais difícil e lenta, pois o sistema satura-se superando a sua capacidade de eliminação do organismo. **Materiais e métodos:** Estudo descritivo, análise secundário de biomarcadores de mercúrio e a sua relação com a idade a partir do estudo “Prevalência de mercúrio e chumbo na população geral de Bogotá 2012/2013”. **Resultados:** Foram realizadas medições em 401 pessoas, cuja média de idade foi 46,5 anos; o 74,8% foram mulheres. Os valores médios de concentração de Hg foram 0,294 µg/L na urina, 3,127 µg/L no sangue; 1,003 µg/g no cabelo. A prevalência geral de pessoas com níveis que superaram os valores limites de referência internacional, dados pela OMS e EPA para Hg foi de 13,5%. Teve correlação positiva entre a idade e as concentrações de Hg no sangue e cabelo $P < 0,05$. **Discussão:** O achado do aumento dos níveis de Hg no sangue e no cabelo respeito do aumento da idade pode se explicar pelo processo nomeado bio-acumulação, pois o corpo humano embora desenhado para eliminar de jeito natural contaminantes como o Hg, é muito lento e com o decorrer do tempo o corpo satura-se superando a sua capacidade para elimina-los. A vista disso, deve se fortalecer o desenvolvimento de sistemas de vigilância epidemiológica que permitam avançar na detecção oportuna de possíveis casos de intoxicação derivados da exposição ambiental a Hg, cujo ênfase deve ser orientado à população mais vulnerável.

Palavras chave: biomarcadores, bioacumulação, mercúrio (MeSH).

Introducción

El mercurio (Hg) ha sido ampliamente estudiado, y aunque se conoce que son componentes propios de la naturaleza y que se encuentran como producto de erupciones volcánicas y procesos de erosión, también es conocido que la carga ambiental de estos y otros contaminantes ha venido en aumento por la intervención del hombre (1-3).

Las formas naturales más comunes del Hg son: el Hg metálico, sulfuro de mercurio, cloruro de mercurio y metilmercurio. Algunos microorganismos y procesos naturales pueden transformar el Hg en el ambiente. Las principales fuentes de liberación de Hg antropogénico ocurren a partir de depósitos antiguos de la actividad minera, y por su uso en la extracción del oro en la minería a pequeña escala y artesanal (1,2).

La OMS ha reconocido que la principal vía de exposición humana es el consumo de pescados y mariscos contaminados con metilmercurio, el cual, al igual que el mercurio elemental, puede producir efectos tóxicos en el sistema nervioso central y periférico (4-6).

Así, hoy en día todos los seres humanos nos encontramos expuestos a Hg a través de los subsistemas ambientales; adicionalmente, nos exponemos por el consumo de alimentos contaminados y la manipulación de algunos productos que contienen mercurio (7-9).

El Hg tiene la característica de acumularse en tejidos, principalmente en el sistema nervioso; es un neurotóxico bien establecido para todos los grupos poblacionales; tiene la capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica y hematoplacentaria, y de generar daños en el feto (10-14). Su toxicidad en los humanos depende de la forma química, cantidad, vía de exposición y vulnerabilidad de la persona expuesta (1), de lo cual dependerán los efectos que se generen en la salud.

Algunos autores afirman que a bajas dosis de Hg, los efectos son insignificantes o nulos para la salud (9); otros afirman que a bajas dosis se puede afectar gravemente el desarrollo del sistema nervioso (7,10,15-19). A escala molecular, el Hg que circula en la sangre y los tejidos se oxida rápidamente para formar iones de mercurio Hg^{2+} , que se fijan a proteínas. Algunas de estas proteínas neutralizan su efecto tóxico, entre ellas las metalotioneínas, pero si estas se saturan, el mercurio queda libre y ejerce su efecto tóxico. Las me-

talotioneínas son proteínas de bajo peso molecular, las cuales están ampliamente distribuidas en el organismo y contienen en su estructura una gran cantidad del aminoácido cisteína, lo cual les confiere una elevada afinidad para reaccionar y almacenar metales, como zinc, cadmio, mercurio, cobre, plomo, níquel, hierro y cobalto. Su función principal es almacenar metales esenciales, como zinc y cobre, en el medio intracelular, y transferirlos a metaloproteínas, factores de transcripción y enzimas; también participan en la eliminación de radicales libres y en procesos de reparación y regeneración celular (20,21).

Debido a los efectos nocivos del Hg en la salud humana, varios países han hecho esfuerzos por medir las concentraciones en marcadores biológicos y sus consecuencias en la salud de población general de países como Estados Unidos, República Checa, Suecia, China, Croacia; así, se encontraron relaciones importantes entre concentraciones elevadas de Hg respecto a consumo de pescado y uso de amalgamas dentales (22-29).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera la concentración normal en población general de mercurio en sangre entre 5 y 10 $\mu g/L$; mercurio en cabello, entre 1 y 2 $\mu g/g$ (9). Por su parte, la EPA considera que el rango normal en orina es $< 20 \mu g/L$ (30).

En Colombia no se tienen estudios que permitan establecer valores de referencia propios, por lo cual, y con el ánimo de tener un punto de comparación, se acogen los valores de referencia de otros países y regiones del mundo.

La preocupación en Colombia por la contaminación ambiental de Hg está ligada con las deficiencias en los procesos de control y restricciones a algunas actividades económicas, como la minería de oro, la odontología, la quema de carbón, los procesos de fundición y el manejo inadecuado de residuos, principalmente a escala industrial. Estas condiciones favorecen la contaminación de los diferentes subsistemas ambientales y de los alimentos, como el pescado, que se convierten en fuentes de exposición para la población general (2,3,26).

Debido a la problemática ambiental y social relacionada con el Hg, entre 2012 y 2013, en Bogotá, la Secretaría de Salud realizó el estudio "Prevalencia de

mercurio y plomo en población general de Bogotá” (30). Se encontraron altas concentraciones de mercurio en cabello, sangre y orina, y una población con un rango de edad amplio, de entre 3 y 91 años. Así surgió entonces la inquietud de “si la edad tiene que ver con el incremento del mercurio en alguno de los marcadores biológicos” analizados en el estudio mencionado.

Con los antecedentes mencionados, el objetivo principal de este estudio es describir los valores de las concentraciones de mercurio en marcadores biológicos (sangre, cabello y orina); y explorar la asociación entre la edad y los resultados obtenidos de las concentraciones de cada uno de estos.

Objetivo

Describir los valores de las concentraciones de mercurio en marcadores biológicos (sangre, cabello y orina); y explorar la asociación entre la edad y los resultados obtenidos de las concentraciones de cada uno de estos.

Materiales y métodos

Diseño

Estudio descriptivo, que corresponde al análisis de los biomarcadores de mercurio y su relación con la edad, a partir del análisis secundario de los resultados del estudio “Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013”.

Población de estudio

Los participantes en el estudio “Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá”, realizado entre 2012 y 2013 en Bogotá, corresponden a 401 personas.

Resultados

Se realizaron mediciones en 401 personas. En relación con las características sociales y demográficas, el promedio de edad de los participantes fue de 46,5 años (entre 3 y 91 años), de los cuales el 74,8 % ($n = 300$) fueron mujeres; el grupo de edad con mayor participación fue el de 27-59 años, con el 64,3 % ($n = 258$); los estratos 2 y 3 estuvieron representados por el 80 % ($n = 321$) de los participantes; la ocupación más frecuente fue ama de casa, con el 45,1 % ($n = 181$) (tabla 1).

Tabla 1. Características sociodemográficas de la población objeto de estudio

Variable		Frecuencia absoluta <i>n</i> (%)	Frecuencia acumulada <i>n</i> (%)
Sexo	Femenino	300 (74,8)	-
	Masculino	101 (25,2)	-
Edad (años)	≤ 5	5 (1,3)	5 (1,3)
	6-16	11 (2,7)	16 (3,9)
	17-26	35 (8,7)	51 (12,7)
	27-59	258 (64,3)	309 (77,0)
	60 y +	92 (22,9)	401 (100,0)
Estrato socioeconómico	1	59 (14,7)	59 (14,7)
	2	195 (48,6)	254 (63,3)
	3	126 (31,4)	380 (94,8)
	4	16 (4,0)	396 (98,7)
	5	4 (1,0)	400 (99,7)
	6	1 (0,2)	401 (100,0)
Nivel educativo	Analfabeta	8 (2,0)	8 (2,0)
	Preescolar	1 (0,2)	9 (2,2)
	Primaria	135 (33,6)	144 (35,9)
	Secundaria	177 (44,1)	321 (80,0)
	Técnico	44 (10,9)	365 (91,0)
	Universitaria	36 (8,9)	401 (100,0)
Ocupación	Ama de casa	181 (45,1)	181 (45,1)
	Otras ocupaciones	157 (39,1)	338 (84,3)
	Estudiante	26 (6,48)	364 (90,8)
	Auxiliar en ventas	24 (5,99)	388 (96,8)
	Obreros de construcción	6 (1,50)	394 (98,3)
	Auxiliar de servicios de salud	4 (1,00)	398 (99,3)
	Reciclaje de baterías	2 (0,50)	400 (99,8)
	Artesanías con metales	1 (0,25)	401 (100,0)

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las variables sociodemográficas y su relación con los niveles de Hg, no se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

Los valores promedio de concentración de Hg fueron 0,294 µg/L en orina, 3,127 µg/L en sangre y 1,003 µg/g en cabello (tabla 2).

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de las concentraciones de Hg en marcadores biológicos

Mercurio				
		Orina (µg/L)	Sangre (µg/L)	Cabello (µg/g)
Mínimo		0	0	0
Percentil 25		0	0,431	0,309
Mediana		0	1,686	0,691
Percentil 75		0,362	3,932	1,299
Máximo		5,721	29,897	10,077
Media				
	Mujeres	0,275	29,836	0,962
	Hombres	0,351	35,523	11,236
	Total	0,294	3,127	1,003
Desviación típica		0,574	4,397	1,116
Valor de referencia internacional (EPA/OMS)		20 (EPA)	10 (OMS)	2 (OMS)

Fuente: Elaboración propia.

La prevalencia general de alguna concentración de Hg alcanzó el 99,0 % (IC 95 %; 97,6-99,6) en cabello; en sangre, el 88,0 % (IC 95 %; 84,5-90,9), y en orina, el 47,6 % (IC 95 %; 42,7-52,5). La prevalencia general de personas con niveles que superaron los valores límite de referencia internacional dados por la OMS y la

EPA para Hg fue de 13,5 % (IC 95 %; 10,3-17,2); algunas personas superan los valores límite de referencia dados por la OMS en cabello y sangre de forma simultánea; ninguna persona superó los valores límite establecidos para Hg en orina por la EPA (tabla 3).

Tabla 3. Frecuencia de personas con presencia de alguna concentración y niveles elevados de Hg en marcadores biológicos

	Mercurio			
	Orina n (%) (IC 95 %)	Sangre n (%) (IC 95 %)	Cabello n (%) (IC 95 %)	Total n = 401 n (%) (IC 95 %)
Personas con alguna concentración	191 (47,6) (42,7-52,5)	353 (88,0) (84,5-90,9)	397 (99,0) (97,6-99,6)	398 (99,2) (97,8-99,8)
Personas con niveles elevados respecto a los valores de referencia internacionales	0 (0,0) (0,0-0,0)	26 (6,5) (4,3-9,2)	48 (12,0) (9,6-15,4)	54 (13,5) (10,3-17,2)

Fuente: Elaboración propia.

Se presentó correlación positiva entre la edad y las concentraciones de Hg en sangre ($r = 0,176$) y en cabello ($r = 0,172$). Es decir, a mayor edad, mayores concentraciones de Hg en sangre y cabello, $p < 0,05$ (tabla 4 y figura 1).

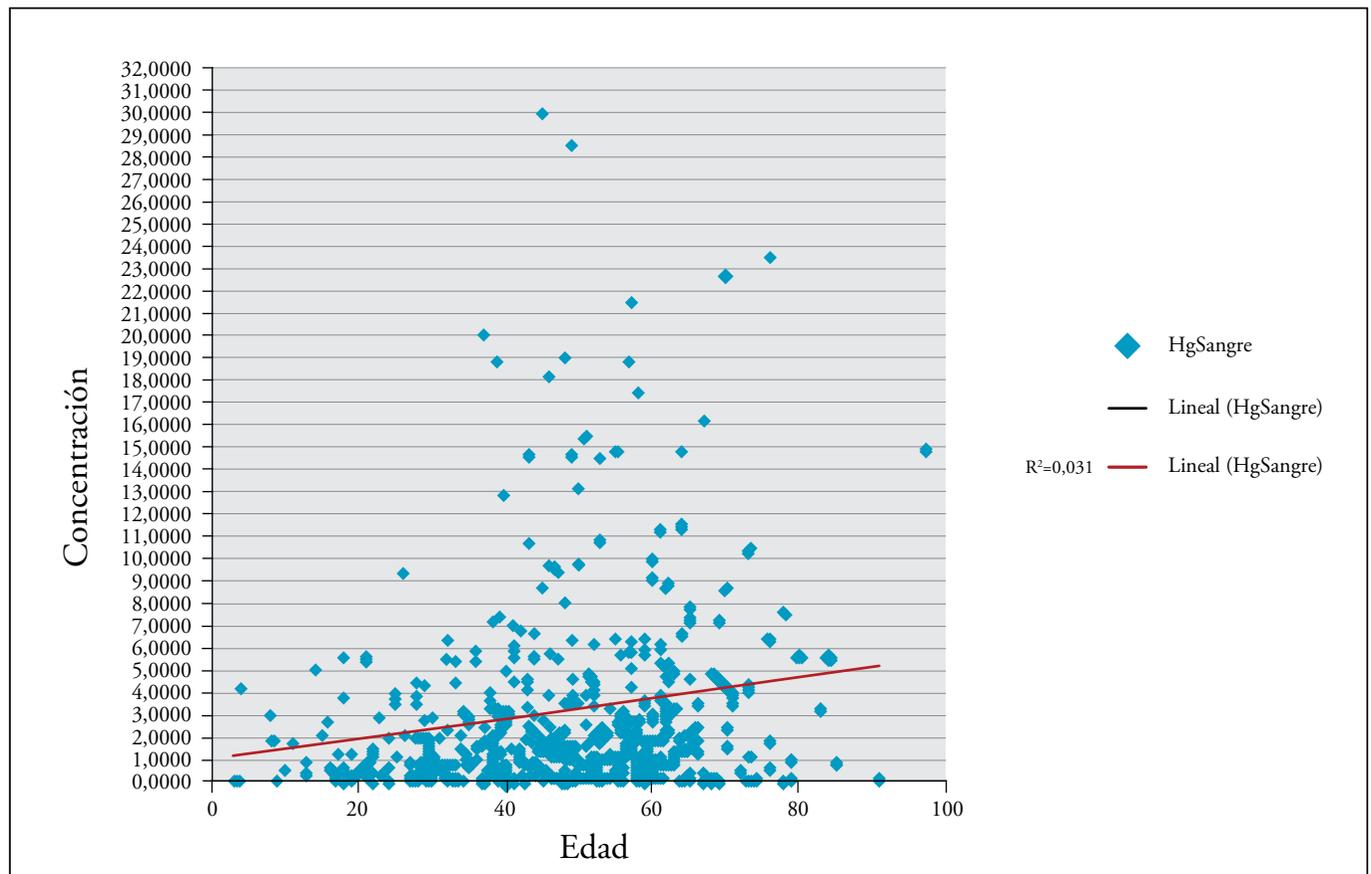
Tabla 4. Edad y aumento en las concentraciones de Hg en marcadores biológicos

Edad	Hg en orina (µg/L)	Hg sangre (µg/L)	Hg cabello (µg/g)
Correlación de Pearson	-0,017	,176*	,172*
Sig (unilateral)	0,365	0	0
N	401	401	401

* La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Correlación de mercurio en sangre con la edad



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La alta prevalencia de algún nivel de Hg en los diferentes marcadores biológicos permite interpretar que la población de Bogotá se encuentra expuesta de forma permanente a este metal pesado. Para algunos investigadores resulta “normal”, teniendo en cuenta que todos los seres humanos estamos expuestos a estas sustancias por diferentes fuentes (9); sin embargo, para otros resulta preocupante, si se tiene presente que se desconocen las fuentes de contaminación, y que si estas no se identifican y controlan, en cualquier momento los niveles pueden aumentar, con consecuencias quizá irreversibles para la salud (1,7,13,15-22).

Al comparar los resultados de las concentraciones promedio encontradas en el presente estudio respecto a otros realizados en población general de diferentes edades, se evidencia que las concentraciones de mercurio en cabello encontradas en Bogotá (1 µg/g) fueron bastante menores respecto a las encontradas en 20 individuos de población general de Caracas, Venezuela (4,8 µg/g) (26); también fueron menores que las concentraciones encontradas en el cabello de 114 individuos de Ayapel, Córdoba (Colombia) (2,18 µg/g) (27). Las concentraciones promedio de mercurio total en sangre de población general de Bogotá (3.127 µg/L), sin embargo, fueron más elevadas que las encontradas en un estudio con población general de Estados Unidos (28); allí se encontraron concentraciones de 1,86 µg/L en asiáticos y de 0,68 µg/L en personas negras no hispanicas.

El hallazgo del aumento de los niveles de Hg en sangre y cabello respecto al aumento de la edad puede explicarse por el proceso conocido como bioacumulación; teniendo en cuenta que, aunque el cuerpo humano está diseñado para eliminar de manera natural contaminantes como el Hg, dicha eliminación es muy lenta, y con el paso de los años el cuerpo se satura y supera la capacidad del organismo de eliminar los contaminantes de manera natural (31, 32).

Se debe fortalecer también el desarrollo de sistemas de vigilancia epidemiológica, pues, en la actualidad, el sistema de vigilancia existente únicamente recoge información correspondiente a intoxicaciones agudas; no se incluyen en este las intoxicaciones crónicas y mucho menos se considera el origen ambiental de estas. Se requieren sistemas de vigilancia que permitan avanzar en la detección temprana de posibles casos

de intoxicación derivados de la exposición ambiental a Hg, cuyo énfasis debe orientarse a la población más vulnerable (niños, mujeres en embarazo y mujeres en edad fértil) (33). Estos sistemas deben ir avanzando hacia sistemas de vigilancia epidemiológica de segunda generación, que implican la medición de exposiciones ambientales y la inclusión de biomarcadores, así como vigilancia de tercera generación, mediante la utilización de la epigenética.

Agradecimientos

Por su colaboración, se agradece al grupo de profesionales de la Secretaría Distrital de Salud: Jaime Hernán Urrego, director de Salud Pública; Patricia Arce Guzmán, profesional especializada de Vigilancia en Salud Pública; Libia Ramírez, profesional especializada de Vigilancia Sanitaria y Ambiental. También, al Comité de Ética para la Investigación en Salud; a Claudia Quijano, referente de salud ocupacional; a Herbert Iván Vera, director encargado del Laboratorio de Salud Pública; a David Combariza, de la Dirección de Investigación del Instituto Nacional de Salud; a Karla Cárdenas, del Grupo de Factores de Riesgo del Ambiente del Instituto Nacional de Salud; a Luis Jorge Hernández, por los aportes realizados a este artículo; a los gerentes de los hospitales de la Red Pública Distrital; a Mónica Correal, y a Maryi Correa y Teresa Sedano, encargadas de la convocatoria de los participantes para la toma de muestras y de la digitalización de la información.

Referencias

1. Programa de Naciones Unidas Para el Medio Ambiente (PNUMA). Análisis de flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos con contenido cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe [internet]. 2010. [citado: 2013 abr. 26]. Disponible en: http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Trade_Reports/LAC/Trade_report_LAC_Spanish_and_English.pdf
2. Ministerio de Salud y Protección Social, Fundación para la Educación y el Desarrollo Social (FES). Evidencia científica, normativa y técnica sobre la problemática del mercurio en Colombia, revisión sistemática de la literatura [internet]. 2012 [citado: 2013 mar. 6]. Disponible en: <http://www.minsalud.gov.co>

- gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/evidencia_cientifica_mercurio0512 .pdf
3. Fuentes A, Falla L. Evaluación y análisis de plomo presente en ambientes interiores a través de monitoreo personal en dos jardines infantiles de las respectivas localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy de Bogotá, D. C. [internet]. 2008. [citado: 2013 may. 3]. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/14075/1/T41.o8 F952ev.pdf>
 4. Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Productos Químicos. Evaluación mundial sobre el mercurio. Ginebra, Suiza: PNUMA Productos Químicos. [internet]. 2005 [citado: 2015 abr. 18]. Disponible en: file:///C:/Users/Userpc/Downloads/evaluacion_mundial_mercurio.pdf
 5. Organización Mundial de la Salud (OMS). Preguntas frecuentes: El mercurio y la salud [internet]. 2011 [citado: 2013 jun. 18]. Disponible en: http://www.who.int/phe/chemicals/faq_mercury_health/es/.
 6. Organización Mundial de la Salud. El mercurio y la salud [internet]. 2013 [citado: 2013 jun. 18]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>.
 7. Poulin J, Gibb H. Mercury assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Pruss-Ustun A. World Health Organization [internet]. 2008 [citado: 2013 may. 6]. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/publications/2008/9789241596572_eng.pdf?ua=1
 8. World Health Organization (WHO), Programa de Naciones Unidas Para el Medio Ambiente (PNUMA). Alianza mundial para eliminar el uso del plomo en la pintura. Plan de actividades [internet]. 2012 [citado: 2013 sep. 27]. Disponible en: http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/business_plan_es.pdf
 9. World Health Organization (WHO), United Nations Environment Programme (UNEP). Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure [internet]. 2008 [citado: 2013 mar. 6]. Disponible en: <http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf>
 10. National Research Council. Toxicological effects of methylmercury. Washington, DC: The National Academies Press; 2000.
 11. Cohen JT, Bellinger DC, Shaywitz B. A quantitative analysis of prenatal methyl mercury exposure and cognitive development. *Am J of Prev Med.* 2005;29:353-65.
 12. Bose-O'Reilly S, McCarty KM, Steckling N, et al. Mercury exposure and children's health. *Curr Probl in Pediatr and Adolesc Heal Care.* 2010;40:186-215.
 13. Kumar N. Industrial and environmental toxins. *NeuroToxicology.* 2008;14:102-37.
 14. Liu J, Goyer R, Waalkes M. Toxic effects of metals. En: Casarett and Doull's Toxicology. 7th ed. New York: McGraw-Hill; 2008. pp. 931-72.
 15. Karagas M, Choi A, Oken E, et al. Evidence on the human health effects of low-level methylmercury exposure. *Environ Health Perspect.* 2012;120:799-806.
 16. Mottet N, Shaw C, Burbacher T. Health risks from increases in methylmercury exposure. *Environ Health Perspect.* 1985;63:1-133.
 17. Grandjean P, Satoh H, Murata K, et al. Adverse effects of methylmercury: environmental health research implications. *Environ Health Perspect.* 2010;118:1137-45.
 18. Auger N, Kofman O, Kosatsky T, et al. Low-level methylmercury exposure as a risk factor for neurologic abnormalities in adults. *Neurotoxicology.* 2005;26:149-57.
 19. Holmes P, James K, Levy L. Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health? *Sci Total Environ.* 2009;408:171-82.
 20. Sabath E, Robles M. Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados. *Nefrología.* 2012;32(3):279-86.
 21. Sakulsak N. Metallothionein: An overview on its metal homeostatic regulation in mammals. *Int J Morpholol.* 2012;30(3):1007-12.
 22. Hrubá F, Strömberg U, Černá M, Chen C, Harari

- F, Harari R. Blood cadmium, mercury, and lead in children: An international comparison of cities in six European countries, and China, Ecuador, and Morocco. *Environ Int.* 2012;41:29-34.
23. Mielke H, Gonzáles C, Mielke P. The continuing impact of lead dust on children's blood lead: comparison of public and private properties in New Orleans. *Environ Res.* 2011;111(8):1164-72.
24. McKelvey W, Jeffery N, Clark N, Kass D, Parsons P. Population-based inorganic mercury biomonitoring and the identification of skin care products as a source of exposure in New York City. *Environ Health Perspect.* 2011;119:203-9.
25. Marcano E, et al. High levels of mercury and Lead detected by hair analysis in two Venezuelan environments. *Acta Amaz.* 2009;39:315-318.
26. Gracia L, Marrugo J, Alvis E. Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública.* 2010;28:118-24.
27. Mortensen M, Caudill S, Caldwell K, et al. Total and methyl mercury in whole blood measured for the first time in the U.S. *Environ Res.*
28. Paoliello M, et al. Valores de referência para plumbeia em uma população urbana do Sul do Brasil. *Rev Panam Salud Pública.* 2001;9:315-319.
29. Environmental Protection Agency, Office of Health and Environmental Assessment. Mercury health effects updates: Health issue assessment. Final report. Washington, 1984:DC: U.S. Document no. EPA 600/8-84.
30. Osorio García SD, Hernández Flórez LJ, Sarmiento R, González Álvarez YC, Pérez Castiblanco DM, Barbosa Devia MZ, et al. Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013. *Rev Salud Pública.* 2014;16(4):621-8.
31. Olivero J, Restrepo B. El lado gris de la minería de oro: la contaminación de mercurio en el norte de Colombia. Cartagena: Editorial Universidad de Cartagena; 2002.
32. Galvão L, Finkelman J, Henao S. Determinantes ambientales y sociales de la salud. Washington: Organización Panamericana de la Salud (OPS); 2010.
33. Veiga MM, Baker RF. Protocols for environmental and health assessment of mercury released by artisanal and small-scale gold miners [internet]. 2004 [citado: 2013 may. 28]. Disponible en: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/ASGM/PROTOCOLS%20FOR%20ENVIRONMENTAL%20ASSESSMENT%20REVISION%2018-FINAL%20BOOK%20sb.pdf>

Recibido para evaluación: 29 de julio de 2014
Aceptado para publicación: 4 de mayo de 2017

Correspondencia

Alejandra Díaz Gómez
Médica toxicóloga
Secretaría Distrital de Salud
Dirección de Salud Pública
addiaz@unal.edu.co