

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Exposición ambiental y humana al mercurio en Venezuela: 2004-2008.

Salus

Maritza Rojas

RESUMEN

El propósito de esa revisión fue documentar estudios sobre mercurio (Hg), en Venezuela mediante una revisión donde se investigaron los estudios realizados y debidamente publicados tanto en bases de datos internacionales como en tesis de grado de diversas Universidades e Institutos de Investigación del país, durante un período de 5 años (2004-2008). El total de trabajos identificados fue de 24: 7 Humanos, 10 Ambientales, 3 Mixtos que discutían tanto aspectos ambientales como humanos, 2 Técnicos y 2 Revisiones que también evaluaron ambos aspectos. Cuatro (16,6%) trabajos sobre exposición humana utilizaron encuestas. Estudios Ambientales incluyeron muestras de: plantas medicinales, crustáceos, bacterias, algas, rocas y aves (1; 4,4% cada uno); muestras de suelos y agua (3; 12,4% c/u) y muestras de aire y corales (2; 8,3% c/u). Las muestras en humanos fueron: cabello (6; 25%), orina (4; 16,6%), sangre (2; 8,3%) y saliva (1; 4,2%). Las especies químicas de Hg analizadas fueron Hg Inorgánico (20; 83,2%) y Metil-Hg (Me-Hg) (2; 8,3%). La técnica más usada fue Espectrometría de Absorción Atómica de Vapor Frío. El rango del Hg total (THg) en cabello fue de 0.36-186.4 µg/g (éste último muy superior a los niveles permisibles reportados por la OMS (10 µg/g). No se encontró una correlación significativa entre niveles de Hg en muestras biológicas y signos/síntomas reportados. Los síntomas asociados al Hg más observados fueron neurológicos. Los resultados, aún siendo un solo país en estudio y con prevalencia de una misma zona, presentan alta variabilidad, quizá relacionado a la diversidad biológica, dieta y susceptibilidad individual, entre otros. Por lo tanto, resulta difícil emitir conclusiones de comparabilidad entre ellos. Sin embargo, se reconoce un importante riesgo humano/ambiental de exposición mercurial, no sólo desde el punto de vista ocupacional, sino para la población general. Se requieren posteriores estudios epidemiológicos para caracterizar con un margen confiable, el riesgo de exposición mercurial en el país.

Palabras Clave: Mercurio, Exposición, Ambiental, Humano, Revisión.

ABSTRACT

Environmental and human exposure to mercury in Venezuela: 2004-2008.

The purpose of this review was to document mercury (Hg) studies done in Venezuela, over a five-year period (2004-2008) using databases and thesis registered at the libraries of some Venezuelan Universities and research institutions. The total number of papers identified in the literature search was 24. From these, 10 were environmental studies; 7 human, 2 contained both aspects, 2 methodology work, and

there were 2 reviews which discuss environmental as well as human issues. Four (16.6%) Human studies used questionnaires. Environmental papers included samples such as: herbal products, crustacean, bacteria, algae, rocks and birds (1; 4.4% each); samples of soil/sediments and water (3; 12.4% each) and 2 studies used air and corals (2; 8.3%). Human samples used were: Hair (6; 25%); Urine (4; 16.6%); Blood (2; 8.3%) and saliva (1; 4.4%). Chemical species of Hg determined were: Inorganic (20; 83.2%) and Methyl-Hg (Me-Hg) (2; 8.3%). The technique most often used was Cold Vapor Atomic Absorption. THg-H values in human studies ranged from 0.36 to 186.4 µg/g (upper range was very much above the permissible limit reported by WHO -10 µg/g-). No significant relation was noted between Hg levels in biological samples and clinical symptoms. Signs/Symptoms more frequently reported were neurological. In spite of representing Venezuela similar areas in terms of Hg-produced environmental and human problems, the results showed high variability perhaps related to biological diversity, diet and individual susceptibility, among others. Therefore it is difficult to properly evaluate them in terms of comparability. A more in-depth exposure assessment and epidemiologic studies are still needed to characterize the Hg exposure risk in our country.

Key words: Mercury, Exposure, Environment, Human, Review.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por Mercurio (Hg) representa un grave problema ya que causa una variedad de efectos adversos, tanto humanos como ambientales. Este metal se libera de forma "natural" de fuentes tales como volcanes, evaporación de las superficies del suelo y agua, degradación de minerales y por incendios forestales. Es además, un elemento traza del carbón por lo que su amplio uso en las centrales termoeléctricas es una de las principales fuentes de emisión de Hg al aire en el mundo.

Debido a sus propiedades químicas, ha sido utilizado ampliamente en la industria y la medicina. Sin embargo, genera variados efectos adversos en el Sistema Nervioso en desarrollo, renal e inmunológico, entre otros (1). Debido a los graves daños que ocasiona a la salud y al ambiente, ha sido catalogado como un material peligroso (2). Igualmente, es dañino al ecosistema y a la vida silvestre.

Diversos estudios han demostrado que el Hg metálico liberado fundamentalmente en el medio acuático puede ser oxidado a ión mercúrico (Hg²⁺) y más tarde convertido al Me-Hg por diversos mecanismos, la mayoría, reacciones mediadas por las bacterias. Este Me-Hg, tiene la capacidad de bioacumularse en los organismos marinos y concentrarse a través de la cadena trófica y posteriormente llegar hasta las especies

Facultad de Ciencias de la Salud, Escuela de Bioanálisis, Sede Valencia, Universidad de Carabobo y MRM-CONSULTOX.

E mail: rojas.m@interlink.net.ve

Recibido: Noviembre 2009 Aprobado: Febrero 2010

piscívoras (3). Este compuesto orgánico es un neurotóxico bien documentado capaz de ocasionar graves daños al organismo, en muchos casos irreversibles, como sucede en mujeres embarazadas donde penetra fácilmente las barreras placentaria y hematoencefálica afectando en particular, el cerebro en desarrollo. Por ello, la exposición *in útero* es de gran importancia. Igualmente, puede causar efectos en el sistema cardio-vascular (4). El potencial para la exposición humana y ambiental por Hg ha sido extensamente estudiado por muchos investigadores de los países mineros de América Latina (5,6). Por otra parte, la inhalación de Hg elemental –vapor–, puede producir síntomas tales como temblores, insomnio, pérdida de la memoria, cambios neuro-musculares y cefaleas, entre otros. El riñón y la tiroides también pueden afectarse (7).

Por lo anteriormente expuesto, se considera al Hg uno de los seis contaminantes más peligrosos para la vida según el Programa Internacional de Seguridad Química de las Naciones Unidas (3). Los usos del Hg de origen “antropogénico” son muchos, siendo la minería del oro una de las principales fuentes de exposición en Sur América. En casi todos los países de la cuenca del Amazonas, el Hg se utiliza en el proceso de extracción del oro. La preocupación sobre la contaminación por Hg en dicha cuenca se planteó por primera vez en la década de los 80's, cuando estudios demostraron que cantidades significativas del metal estaban siendo objeto de dumping en el ecosistema del Amazonas como resultado de la llamada “fiebre del oro” (8, 9).

La mayor parte del procesamiento de la minería del oro es conducida actualmente en países en desarrollo, por compañías pequeñas o por mineros de la economía informal que operan en áreas remotas. La mayoría de los países del *tercer mundo* incluyendo los de América Latina, enfrentan problemas muy similares en términos de lo social, lo económico y también en los aspectos sobre la salud ambiental y humana (10). Brasil es el primer productor de oro en Sur América, seguido por Colombia, Venezuela, Perú y Bolivia (11). La exposición ocupacional a Hg, es entonces muy importante. Para todos los países de América Latina, combinados, se estima que existen aproximadamente entre 500.000 y un millón de mineros del oro (12).

La amalgamación con Hg es el método preferido por los mineros artesanales o informales en América Latina. A pesar de que algunas compañías mineras están usando el cianuro para extraer el oro, el Hg es un reactivo efectivo, simple y económico para dicho proceso cuando es usado correctamente (1 kg de Hg cuesta aproximadamente lo que 1 g de oro) (12). Al final del proceso, la amalgama usualmente contiene cerca de 40% de Hg. Cuando el exceso es extraído por centrifugación, como se ha observado en algunas operaciones en Venezuela, la amalgama resultante tiene 20% de Hg. La liberación de Hg a la atmósfera representa tanto como 50% del metal introducido en el procesamiento completo, cuando no se usan las retortas. Sin embargo, cuando la amalgamación es adecuadamente realizada y se usan las

retortas, muy poco Hg se pierde al ambiente (tan poco como 0,05%) (12,13). Los estudios de los efectos tóxicos del Hg en mineros, refinadores y en comunidades que viven cerca de esta actividad, ha sido bien documentada (14,15).

Venezuela no escapa a estos efectos derivados de la industria de la minería del oro siendo la zona más afectada el Sureste del país, específicamente el estado Bolívar cerca del límite con Brasil y Guyana, en las riberas de los ríos Caroní y Caura. Este último ha sido un río con una impresionante biodiversidad que cada día se ve más afectado por el uso irresponsable del metal y de la disposición de sus desechos. Los ríos venezolanos son reservorios de las zonas de minería del oro ya que recogen sus residuos, con el subsiguiente proceso de bioacumulación del metal en las especies piscícolas, afectando la calidad de vida de los habitantes de los pueblos ribereños para quienes el pescado es parte fundamental de su dieta (16 H).

Aparte de la exposición relacionada con la minería del oro, no se pueden pasar desapercibidas otras fuentes de origen ocupacional (fabricación de bombillos, fluorescentes, uso en laboratorios, amalgamas odontológicas, fabricación de termómetros, barómetros, termostatos, trompas de vacío, etc.). Igualmente, es conocido su uso en productos medicinales “naturales” y en usos de la cultura popular relacionados con el esoterismo, magia, etc.

No son muchos los estudios referentes a los efectos humanos y ambientales del Hg en nuestro país, aún cuando la potencialidad tóxica del metal es bastante elevada. Por lo anteriormente expuesto, el propósito de esta revisión es documentar los estudios sobre Hg realizados en Venezuela, durante un período de 5 años (2004-2008). La evaluación se basa en una revisión amplia y sistemática (usando bases de datos bibliográficas disponibles online), de los proyectos de investigación y los datos científicos producidos en este período. Incluye artículos debidamente publicados y tesis de grado evaluadas. Los principales logros y deficiencias aún existentes en los conocimientos sobre aspectos ambientales y de salud en los seres humanos se identifican y analizan.

MÉTODO

- Se realizó una revisión donde se investigaron los estudios realizados sobre Hg en Venezuela, debidamente publicados durante un período de 5 años (2004-2008).
- Se investigaron todas las bases de datos disponibles en internet. Igualmente, las publicaciones que aparecen en las webs de las Universidades y en el IVIC.
- Hasta donde alcanzó la bibliografía consultada, se identificaron los artículos publicados y las tesis de grado evaluadas de acuerdo al tipo de estudio, clasificándose en: Ambientales (**A**), Humanos (**H**), Mixtos (humano + ambiental) (**M**), Técnicos (metodológicos) (**T**) y Revisiones (**R**). Los números de las referencias bibliográficas se corresponden a los citados en el texto, sólo que los

trabajos evaluados se identifican, en el texto, con la letra correspondiente según tipo de estudio.

- Se caracterizaron además, con base en: métodos de recolección de datos, hallazgos de salud, forma química del Hg determinada y método empleado, uso de monitoreo biológico y/o ambiental, tipo de muestras ambientales o humanas estudiadas, niveles de Hg encontrados y su comparación con niveles permisibles y resultados de asociaciones entre diversos parámetros.
- Los resultados se expresaron en tablas debidamente discutidas y analizadas.

RESULTADOS

El resultado de los artículos identificados se muestra en la **Tabla 1**.

Ref.	TIPO				
	HUMANO	AMBIENTAL	MIXTO	TECNICO	REVISIONES
30H	Agreda O et al, 2008				
35T				Alizo, D. et al, 2006	
32A		Álvarez, A. et al, 2005			
16H	Álvarez, L. & Rojas, L., 2006.				
31A		Astudillo, L. et al, 2005			
25A		Ball, M. et al, 2007			
29M			Carrasquero, A. 2006		
36A		Cordero, J. et al, 2005			
37T				De Santis, A. et al, 2005	
38A		Farina, O. et al, 2008			
17H	Fernández, A. Betzy, T., 2004				
26A		García-Sánchez, A. et al, Oct. 2006			
27A		García-Sánchez, A. et al, Dic. 2006			
28A		García-Sánchez, A. et al, 2008			
20M			Herrero, N. et al, 2004		
23H	Morales, I. et al, 2007				
33A		Pirela y Casler, 2005			
34A		Ramos, R. et al, 2008			

Tabla 1. (continuación)

Ref.	TIPO				
	HUMANO	AMBIENTAL	MIXTO	TECNICO	REVISIONES
18H	Rojas, M. et al, 2007				
19H	Salazar De, M. 2006				
24M			Silva, M. et al, 2004		
39H	Vásquez, A. et al, 2006				
21R					Veiga, M. et al, 2004
22R					Veiga, M. et al, July 2005
	7 (29.17%)	10 (41.67%)	3 (12.50%)	2 (8.33%)	2 (8.33%)

Tabla 1. Autores de los trabajos realizados de acuerdo a tipo de estudio.

Solo se utilizaron “encuestas” para obtener datos personales, formas de exposición y potenciales efectos a la salud, en 4 trabajos de investigación en Humanos (**16H, 17H, 18H y 19H**) y en uno Mixto (**20M**). Estudios descriptivos, tipo Revisión fueron 2, ambos del mismo grupo de autores (**21R, 22R**).

Los signos/síntomas más comunes observados fueron de tipo neurológico seguidos por afectaciones del tracto gastrointestinal, como sigue: En trabajos Humanos correspondió a los artículos: **16H, 17H, 18H, 19H y 23H**; en estudios Mixtos a **20M y 24M**. Dos artículos (**17H y 20M**), describieron igualmente signos/síntomas oftalmológicos.

La Tabla 2 describe la distribución de los estudios Ambientales y Mixtos, según la muestra Ambiental utilizada para medir la exposición.

Tabla 2: Tipo de muestras ambientales estudiadas en trabajos “ambientales” y “mixtos”

REF. No.	TIPO DE MUESTRA	AMBIENTALES		MIXTOS		TOTAL	
		n	% ⁽¹⁾	n	% ⁽²⁾	n	% ⁽³⁾
25A	Bacterias	1	10			1	4,2
26A, 27A	Aire	2	20			2	8,3
26A, 27A, 20M	Suelos	2	20	1	33,3	3	12,5
27A	Rocas	1	10			1	4,2
28A, 20M	Peces	1	10	1	33,3	2	8,3
28A, 20M, 24M	Agua	1	10	2	66,7	3	12,5
31A	Crustáceos	1	10			1	4,2
32A	Plantas medicinales	1	10			1	4,2
33A	Aves	1	10			1	4,2
34A, 38A	Corales (**)	2	20			2	8,3
36A	Algas	1	10			1	4,2

⁽¹⁾: % calculado con base en total de trabajos ambientales (n=10); ⁽²⁾: % calculado con base en total de trabajos mixtos (n=3); ⁽³⁾: % calculado con base en total de trabajos (n=24); (**): Porites asteroides, Siderastrea siderea y Montastraea faveolata.

Igualmente, la Tabla 3 muestra los tipos de muestras biológicas, estudiadas en trabajos Humanos y Mixtos, donde se determinaron las concentraciones de Hg, a saber: Hg total en Cabello (THg-C), en orina (THg-O), en sangre (THg-S) y en Saliva (THg-Sa) y Metil-Hg en Cabello (MeHg-C).

Tabla 3: Tipo de muestras humanas en trabajos “humanos” y en “mixtos” y uso de cuestionario

TRABAJOS HUMANOS (REF. No.)	TIPO DE MUESTRAS											
	CABELLO			ORINA			SANGRE			SALIVA		
	n	% ⁽¹⁾	% ⁽²⁾	n	% ⁽¹⁾	% ⁽²⁾	n	% ⁽¹⁾	% ⁽²⁾	n	% ⁽¹⁾	% ⁽²⁾
16H	1	4,2	14,3	1	4,2	14,3						
17H	1	4,2	14,3									
18H	1	4,2	14,3									
23H				1	4,2	14,3	1	4,2	14,3			
30H				1	4,2	14,3						
39H										1	4,2	14,3
TOTAL MUESTRAS EN HUMANAS	3	12,5	42,9	3	12,5	42,9	1	4,2	14,3	1	4,2	14,3
TRABAJOS MIXTOS (REF. No.)	n	%⁽¹⁾	%⁽³⁾	n	%⁽¹⁾	%⁽³⁾	n	%⁽¹⁾	%⁽³⁾	n	%⁽¹⁾	%⁽³⁾
20M	1	4,2	33,3	1	4,2	33,3	1	4,2	33,3			
24M	1	4,2	33,3									
29M	1	4,2	33,3									
TOTAL MUESTRAS EN MIXTOS	3	12,5	100	1	4,2	33,3	1	4,2	33,3			
TOTAL MUESTRAS	6	25⁽¹⁾		4	16,6⁽¹⁾		2	8,3⁽¹⁾		1	4,2⁽¹⁾	

I: % calculado con base en total de trabajos (n=24); (2): % calculado con base en total de trabajos humanos (n=7); (3): % calculado con base en total de trabajos mixtos (n=3).

En la **Tabla 4** se muestran las formas químicas de Hg investigadas en cada estudio. El método analítico más usado para determinar Hg, tanto en muestras tanto humanas como ambientales, fue Espectrometría de Absorción Atómica de Vapor Frío.

Tabla 4: formas químicas del Hg investigadas

HUMANOS (REF. No.)	Hg-INORGANICO		Hg-ORGANICO	
	n	%/24	n	%/24
16H	1	4,2		
17H	1	4,2		
18H	1	4,2	1	4,2
19H	NA	NA		
23H	1	4,2		
30H	1	4,2		

Tabla 4: formas químicas del Hg investigadas (continuación)

HUMANOS (REF. No.)	Hg-INORGANICO		Hg-ORGANICO	
	n	%/24	n	%/24
39H	1	4,2		
TOTAL Hg-inorgánico EN “HUMANOS”	6	24,96		
TOTAL Hg-orgánico EN “HUMANOS”			1	4,2
TECNICOS (REF. No.)				
35T	NA	NA		
37T	1	4,2		
TOTAL Hg-inorgánico EN “TÉCNICOS”	1	4,2		
AMBIENTALES (REF. No.)				
25A	1	4,2	1	4,2
26A	1	4,2		
27A	1	4,2		
28A	1	4,2		
31A	1	4,2		
32A	1	4,2		
33A	1	4,2		
34A	1	4,2		
36A	1	4,2		
38A	1	4,2		
TOTAL Hg-inorgánico EN “AMBIENTALES”	10	42		
TOTAL Hg-orgánico EN “AMBIENTALES”			1	4,2
MIXTOS (REF. No.)				
20M	1	4,2		
24M	1	4,2		
29M	1	4,2		
TOTAL Hg-inorgánico EN “MIXTOS”	3	12,5		
REVISIONES (REF. No.)				
21R	NA	NA		
22R	NA	NA		
TOTAL REVISIONES	2	NA		
TOTAL DE formas químicas determinadas	20	83,2	2	8,32

La mayor parte de los estudios se realizaron en el estado Bolívar, la zona minera de Venezuela (**16H, 17H, 20M, 24M, 25A, 26A, 27A, 28A, 29M, 21R, 22R**) (**11/24=45.8%**). Las otras regiones estudiadas fueron: San Diego, Edo. Carabobo (**30H**), Golfo de Paria (**31A**), Caracas (**23H**), Mérida (**32A**), Lago de Maracaibo (**33A**), Parque San Esteban, Edo. Carabobo (**34A**), Zona Costera Pto. Cabello-Morón, Edo. Carabobo (**18H**), San Joaquín, Edo. Carabobo (**19H**) (correspondiendo a 4.16% cada uno). Sin identificar la región fueron 5 (21%) (**35T, 36A, 37T, 38A, 39H**).

Sólo 5 (21%) trabajos en Humanos (**16H, 17H, 18H, 19H, 23H**) y uno Mixto (**24M**) separaron los grupos según exposición. A su vez, 3 (12.5%) trabajos Humanos (**30H, 16H, 18H**),

y 3 Mixtos (12.5%) (**20M, 24M y 29M**), discriminaron la población estudiada por sexo y/o edad.

El rango de los valores encontrados en muestras humanas fue: THg-C: 0.36-186.4 $\mu\text{g/g}$; THg-O: 1.45 - 14.15 ng/mL y THg-S: 11.78-20 $\mu\text{g/g}$.

Los valores permisibles, referenciales, más utilizados para la interpretación de las concentraciones obtenidas fueron: THg-C (10 $\mu\text{g/g}$) y MeHg-C (2-6 $\mu\text{g/g}$) (2,3,15); THg-O: 35 $\mu\text{g/g}$ Creat. (**40**); MeHg-S: 8 $\mu\text{g/L}$ (ppb); MeHg-O: 4 $\mu\text{g/L}$.

En el artículo de García-Sánchez, Oct. 2006 (**26A**), los valores encontrados resultaron superiores al límite permisible de WHO para exposición (25 $\mu\text{g/m}^3$) y al de NIOSH (50 $\mu\text{g/m}^3$) (**41**). En la investigación de Morales, I. et al, 2007 (**23H**), los niveles de Hg-O en la población estudiada fueron menores al nivel umbral de la WHO, 1991 (**2**) -50 $\mu\text{g/L}$ (ppb)-. En cambio, al determinar la concentración de Hg-S, 21% de la población resultó con niveles superiores al umbral [15 $\mu\text{g/L}$ (ppb)]. Pirela y Casler, 2005 (**33A**), reportan que todos los promedios, en todas las especies de aves evaluadas, excedieron los límites permisibles de Hg para el ser humano (> 0,3 mg/kg). También reportan que las diferencias entre nivel trófico (aves piscívoras vs. consumidoras de invertebrados), no fueron significativas ($p=0,05$). Sin embargo, los valores de Hg en todas las especies de la playa de Caimare Chico (lago de Maracaibo), mostraron diferencias significativas según la época estacional.

Carrasquero-Durán, 2006 (**29M**), expresa que en su estudio, los peces carnívoros más consumidos presentaban niveles de Hg mayores de 0,5 $\mu\text{g/g}$. Por su parte, Rojas, M. et al, 2007 (**18H**), muestra que aunque identificaron niveles de Hg, estas concentraciones del metal no excedieron los niveles permisibles. Sólo 5 (21%) trabajos en Humanos (16,17,18,19,23) y uno Mixto (24) separaron los grupos según exposición. A su vez, 3 (12.5%) trabajos Humanos (30, 16, 18) y 3 Mixtos (12.5%) (20, 24 y 29), discriminaron la población estudiada por sexo y/o edad (Tabla 5).

Tabla 5. Asociaciones significativas encontradas en los artículos evaluados

REF. No.	ASOCIACION ENTRE	SIGNIFICACION
26A	Hg-Aire	Hg-Suelo
30H	Media de THg-O en edades 10-12 años (1,45 $\mu\text{g/L}$) (A)	Resto de los rangos de edades (B)
16H	THg-C del grupo femenino en edad reproductiva (12-44 años)	Con respecto a los de sexo masculino
20M	Intoxicados con Hg (> mayor número de signos y síntomas neurológicos asociados con Hg)	No intoxicados con Hg
	THg-S	THg-O
23H	Hg-O y Hg-S en Odontólogos y asistentes dentales (>)	Técnicos que no manipulan Hg
	Hg-O	Hg-S
18H	THg-H: Grupo estudio (>)	Grupo Control
29M	Grupo con edad > 50 años mostró la media más elevada (THg-C: 7,5 $\mu\text{g/g}$)	Con los otros grupos
33A	Promedio de THg-Aves según la época estacional	Época estacional

DISCUSIÓN

A pesar de la documentación existente sobre los efectos adversos del Hg sobre la biota, sedimentos, suelos y poblaciones cercanas a los sitios de potencial contaminación (como las zonas mineras), en nuestro país no se realizan suficientes estudios que permitan establecer tanto los efectos ambientales como humanos del metal, entendiendo su ciclo biogeoquímico para poder estimular acciones de prevención y control de la contaminación. Se observa además, que los estudios en poblaciones afectadas, tanto desde el punto de vista ocupacional como del ambiente general, son menos que las investigaciones de carácter exclusivamente ambiental, en una ratio 7:10 respectivamente. Sin embargo, es importante el hecho de que la mayor parte de los estudios fue realizada en la zona minera del estado Bolívar como era de esperarse.

De los 10 trabajos ambientales, las muestras más estudiadas fueron suelo, aire y corales, en un 20% cada uno (**Tabla 2**). La muestra biológica más usada fue el Cabello (25%), seguida por Orina (16.6%), Sangre (8.3%) y Saliva (4.2%) (**Tabla 3**). En referencia a esto, es conocido que el Cabello tiene varias ventajas como muestra biológica. Una de ellas es que los análisis de las fibras del cabello, segmentadas, proveen la oportunidad de reconstruir la historia de exposiciones pasadas basadas en la tasa de crecimiento (**5, 42**). Otra ventaja es que es una técnica de muestreo no-invasiva y de fácil almacenamiento. A su vez, existe evidencia que el THg-C es acerca de 250-300 veces mayor que el THg-S (**43, 44**), por lo que ambos parámetros muestran muy buena correlación. Por ello tanto se ha usado un Factor de conversión de 1:250 para convertir THg-C a THg en sangre completa (**45**).

En la **Tabla 4** se muestra que la especie química predominante de Hg determinada fue el Hg-inorgánico (83.2%), frente a 8.32% de Hg-orgánico, en este caso representado por Me-Hg. Este último es un indicador biológico más indicado para la exposición alimentaria pues como se mencionó, se forma a partir del Hg elemental o inorgánico, cuando existen condiciones apropiadas que generalmente ocurren en el medio acuático. Además, la medición de Hg total, ya incluye al orgánico y al inorgánico. Siendo el orgánico una porción del Hg total, dependiendo de las concentraciones de éste en las muestras humanas, se requerirá o no proceder a la posterior determinación de la concentración de Me-Hg, pues si la concentración del THg es muy baja, se infiere que la de Me-Hg será insignificante.

En referencia a los promedios de Hg encontrados en muestras humanas, según la OMS (**46**), las concentraciones de Hg-C por debajo de 2 $\mu\text{g/g}$ se consideran el nivel de poblaciones "no-expuestas", mientras que 6 $\mu\text{g/g}$, representan el límite de tolerancia biológica. En los trabajos investigados se encontraron algunos niveles bastante altos de THg-C

(186,4 $\mu\text{g/g}$ en **29M**), el cual es muy superior a cualquier valor referencial, permisible, establecido.

Con referencia al predominio de síntomas de tipo neurológico, esto es consistente con gran variedad de estudios que demuestran por qué el Hg ha sido reconocido como un problema de salud pública por más de 40 años, debido principalmente a sus efectos sobre el sistema nervioso en desarrollo. Esto ha sido ampliamente ilustrado al conocer los trágicos casos ocurridos en Japón e Iraq. Allí se observaron efectos que incluyeron retardo mental, parálisis cerebral, sordera, ceguera y disartria en individuos expuestos *in útero* y daño sensorial y motor en adultos expuestos. La exposición materna, prenatal, crónica, a bajas dosis de Me-Hg, por el consumo de pescado contaminado con el metal, ha sido asociada con efectos neurotóxicos sutiles en niños (**47,48,49**). Aunque en la presente revisión los efectos Gastro-intestinales siguieron a los neurológicos en frecuencia, la literatura también reporta, como muy importantes, los daños sobre el sistema cardiovascular en desarrollo y adulto (**50, 51**).

Lebel et al 1998 (**5**), sugieren que algunas alteraciones neurotóxicas de las funciones motoras pueden detectarse aún a niveles por debajo del valor umbral de THg-C, establecido por la WHO, de 50ppm. Los autores de los trabajos evaluados en la presente revisión usaron, en su mayoría, un nivel permisible de THg-C de 10 $\mu\text{g/g}$ (ppm), por lo que siendo este un valor menor a 50 ppm, se podría considerar conservador. A pesar de esto, los efectos sobre seres humanos, especialmente la neurotoxicidad en poblaciones tradicionales, aún permanecen sin ser totalmente entendidos. Igualmente pasa con los impactos ecológicos del Me-Hg en la vida silvestre de las regiones afectadas por la industria del oro, como la Amazonia.

Las asociaciones significativas (**Tabla 5**) demuestran la mayor afectación existente en las poblaciones, humanas o del ambiente, que están más expuestas al Hg. En la población humana por ejemplo, se evidencia tanto a través de la presencia de mayor número de signos/síntomas asociados al Hg en los más expuestos, como en los resultados del monitoreo biológico (**20M, 18H y 23H**).

A pesar de que no se observa una interacción entre los investigadores del área, para realizar trabajos multidisciplinarios con investigadores de variadas instituciones, la revisión indica que el tópico de investigación (el Hg), es compartido por un número importante de investigadores, la mayoría venezolanos y algunos del exterior, con objetivos y proyectos comunes.

Limitaciones de esta revisión: Una de las principales es la carencia de homogenización en los valores permisibles utilizados para interpretar los resultados y en las unidades en que se expresan las concentraciones.

CONCLUSIONES

- ✓ La zona más estudiada fue la zona minera del estado Bolívar.
- ✓ Los síntomas comúnmente observados fueron neurológicos (tensión nerviosa, estrés, cefaleas, insomnio, temblores, cambios de humor), en los estudios que investigaron signos/síntomas asociados al Hg.
- ✓ Los resultados, aún siendo un solo país en estudio y con prevalencia de una misma zona, presentan alta variabilidad, quizá relacionado a la diversidad biológica, a la dieta y a la susceptibilidad individual, entre otros. Por lo tanto, resulta difícil emitir conclusiones de comparabilidad entre ellos.
- ✓ El número de muestras obtenidas y su variedad en término de compartimientos usados, no permite un estudio estadístico o epidemiológico adecuado, sino un recurso aproximado para evaluar el estado de la investigación del Hg en el país. Sin embargo, se logra la identificación de las diferentes rutas de exposición humana y ambiental y sus posibles riesgos.
- ✓ Los hallazgos de esta revisión señalan que la minería del oro sigue siendo un importante riesgo humano de exposición mercurial, no solo para los mineros en sí, sino para la población general, y para pescadores y sus familias. El Hg además, también es liberado en cantidades importantes a ríos y lagos, lo cual representa un importante riesgo ecológico.
- ✓ Se requiere una evaluación más profunda y posteriores estudios epidemiológicos para caracterizar con un margen bien confiable, el riesgo de exposición mercurial en el país. Sin embargo, los resultados de estos investigadores documentan datos importantes para estudios futuros, acerca del impacto real del Hg, que pudiese conducir a efectos deletéreos en el ambiente y/o en la población expuesta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Morales I, Reyes R. Mercurio y Salud en Odontología. Rev Saú-de Pública 2003; 37: 266-272.
2. WHO 1991. Inorganic mercury. Environmental Health Criteria, 118. World Health Organization; Geneva; 1991.
3. WHO 1990. International Program on Chemical Safety. "Environmental Health Criteria" 101: Methylmercury. World Health Organization; Geneva; 1990. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm#PartNumber:5>.
4. Dorea JG, Barbosa de CA. Frutas, pescado y el mercurio: Consideraciones adicionales. Environ Res. 2004; 96:102-3
5. Lebel J, Mergler D, Branches F, Lucotte M, Amorim M, Larribe F, et al. Neurotoxic effects of low-level MeHg contamination in the Amazonian basin. Environ Res. 1998; 79:20-32.
6. Palheta D, Taylor A. Mercury in environmental and biological samples from gold mining area in the Amazonian region of Brazil. Sci total environ. 1995; 168:63-69.

7. The Mercury Policy Project (MPP). The Zero Mercury Campaign. Nov. 2004. Disponible en: <http://www.zeromercury.org>
8. Akagi H. La contaminación por mercurio en el Amazonas, Brasil. *Japanese Journal of Toxicology and Environmental Health* 1995; 41:107-15.
9. Richard S, Arnoux A, Cerdan P, Reynouard C, Horeau V. Mercury levels of soils, sediments and fish in French Guiana, South America. *Water Air Soil Pollut.* 2000; 124:221-44.
10. Costa Moreira, J. Threats by heavy metals: human and environmental contamination in Brazil. *Sci total environ.* 1996; 188(1):61-71.
11. Malm O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian amazon. *Environ. Res.* 1998; 77:73-78.
12. Veiga M. Mercury in Artisanal Gold Mining in Latin America: Facts, Fantasies and Solutions. UNIDO - Expert Group Meeting - Introducing new technologies for abatement of global mercury pollution deriving from artisanal gold mining, Vienna, July 1- 3, 1997.
13. Farid LH, Machado JEB, Silva OA. Emission Control and Mercury Recovery from Garimpo Tailing. En: *Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo*, Ed. M.M.Veiga and F.R.C. Fernandes, CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, Brazil, 1991; pp. 27-44.
14. Branches FJ, Erickson TB, Aks SE, Hryhorczuk DO. The price of gold: Mercury exposure in the Amazonian rain forest. *J Toxicology Clinical Toxicology* 1993; 31(2):295-306. WHO 1980. Recommended health-based limits in occupational exposure to heavy metals. Technical Report, Series 647, World Health Organization; Geneva; 1980.
15. Álvarez L, Rojas L. Presencia de mercurio total en habitantes de los asentamientos indígenas El Casabe, Municipio Autónomo Raúl Leoni y El Plomo, Municipio Autónomo Manuel Carlos Piar - Estado Bolívar. *Saber. Universidad De Oriente Jul-Dic* 2006; 18(2).
16. Fernández A, Betsy T. Contaminación mercurial como factor de riesgo laboral en el personal sanitario del servicio de odontología del Hospital Raúl Leoni San Félix. *Universidad Nacional Experimental de Guayana (UNEG). Tesis para Maestría. Abril* 2004.
17. Rojas M, Nakamura K, Seijas D, Squillante G, Pieters MA. Mercury in hair as a biomarker of exposure in a coastal Venezuelan population. *Investigación Clínica. Universidad Del Zulia.* 2007; 48(3):305-315.
18. Salazar De M. Posibles efectos de la ingesta de tilapia (*Oreochromis mossambicus*) con alto contenido de mercurio proveniente del lago de Valencia en un grupo de familias encuestadas de San Joaquín, Edo. Carabobo. *Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela; Dic.* 2006.
19. Herrero N, Montes M, Penna S, Suarez C, Rivas C, Herrero Z, Farias I. Diagnóstico de la contaminación mercurial en la comunidad Sta. María del Vapor, Municipio Sifontes, Edo. Bolívar. *GEOMINAS Dic.* 2004; 32(35): 59-64.
20. Veiga M, Bermudez D, Pacheco-Ferreira H, Martins L, Gunson A, Berrios G, Vos L, Huidobro P, Roeser M. Mercury pollution from artisanal gold mining in block B, El Callao, Bolivar State, Venezuela: health and technological assessment (project xp/ven/03/c04). *United Nations Industrial Development Organization (Unido 2004). Vienna International Centre, Austria; May* 2004.
21. Veiga M, Bermudez D, Pacheco-Ferreira H, Martins Pedroso L, Gunson A, Berrios G, Vos L, Huidobro P, Roeser M. Mercury Pollution From Artisanal Gold Mining In Block B, El Callao, Bolivar State, Venezuela. En: *Dynamics of Mercury Pollution On Regional And Global Scales: Atmospheric Processes, Human Exposure Around The World*, P. 421-450. N. Pirrone & K. Mahaffey (Eds), Springer Publisher, Norwell, Ma, USA; July 2005.
22. Morales I, Reyes R, Alvarado, J, Domínguez J, Mijares R. Diagnóstico de la contaminación por mercurio en el personal de una unidad odontológica de Caracas, Venezuela. *Acta Odontol. Venez.* Sept. 2007; 45(3):369-374.
23. Silva M, Arredondo I, Arrijoa S, Chadi N, Loreto A, Molina E. Determinación de factores epidemiológicos y clínicos en personas expuestas al mercurio en dos poblaciones del Bajo Caroní, Estado Bolívar, Venezuela (2000-2001). *Geominas Junio* 2004; 32(34): 19-22.
24. Ball M, Carrero P, Castro D, Yarzabal L. Mercury resistance in bacterial strains isolated from tailing ponds in a gold mining area near El Callao (Bolívar State, Venezuela). *Curr Microbiol.* 2007; 54(2):149-54.
25. García-Sánchez A, Contreras F, Adams M, Santos F. Airborne total gaseous mercury and exposure in a Venezuelan mining area. *Int J Environ Health Res.* Oct 2006.; 16(5):361-73.
26. García-Sánchez A, Contreras F, Adams M, Santos F. Atmospheric mercury emissions from polluted gold mining areas (Venezuela). *Environ Geochem Health* Dec 2006; 28(6):529-40.
27. García-Sánchez A, Contreras F, Adams M, Santos F. Mercury contamination of surface water and fish in a gold mining Region (Cuyuní River Basin, Venezuela). *Int J. of Environ and Pollution* 2008; 33(2/3):260-274.
28. Carrasquero-Durán A. Mercury contamination of workers of gold processing centres at El Callao, Venezuela. *An. Asoc. Quím. Argent. Ago./dic.* 2006; 94(4-6):91-100.
29. Agreda O, Pieters M, Seijas D. Niveles basales de mercurio en orina en escolares del Municipio San Diego, Edo. Carabobo. *Gac Méd Caracas sep* 2008; 116(3):212-218.
30. Astudillo LR, Yen IC, Bekele I. Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 2005; 53:41-53.
31. Alvarez A, Arias Y, Luna J, Di Ver nardo ML, García MI, Yáñez C, Mejias R, Rondon C. Determination of Pb and Hg in medical herbal products marketed in Venezuela. *Revista De Toxicología En Línea (Retel)* 2005. Disponible en: <http://www.sertox.com.ar/retel/n15/004.pdf>
32. Pirela D y Casler C. Concentraciones de Mercurio en Tejidos de Aves Acuáticas, en el Norte del Sistema del Lago de Maracaibo, Occidente de Venezuela. *Bol. Centro Invest. Biol. Ago.* 2005; 39(2):108-127.
33. J Ramos R, Cipriani R, Guzman HM, García E. Chronology of mercury enrichment factors in reef corals from western Venezuela. *Mar Pollut Bull.* Feb 2009; 58(2):222-229.
34. Alizo D, Domínguez V, José R, Morales-Fuentes I, Alvarado J. Modificación y evaluación de un horno microondas doméstico para la digestión en envases abiertos de muestras de orina y sangre. *Ciencia Oct-Dic* 2006; 14(4):516-524.
35. Cordero J, Guevara M, Morales E, Lodeiros C. Efecto de metales pesados en el crecimiento de la microalga tropical tetraselmis chuii (prasinophyceae). *Rev. Biol. Trop. Sept.-Dic.* 2005; 53 (3-4): 325-330.
36. De Santis A, Marquez J y Linares de Monsalve L. Recovery studies in the determination electroanalytical of zinc in different types of water using an modified electrode with elementary mercury. *Ciencia Sept.* 2005; 13(3):302-308.
37. Farina O, Ramos R, Bastidas C. García E. Biochemical responses of cnidarian larvae to mercury and benzo(a)pyrene exposure. *Bull of Enviro. Contam. and Toxic.* 2008; 8: 553- 557.
38. Vásquez A, Colina M, Fernández DR, Bello, Sorely C, Ocando AM, Rodríguez M, Semprum B, Hernández M, Granadillo V. Determinación de mercurio liberado de amalgamas sumergidas en saliva artificial por espectrometría de absorción atómica con vapor frío. *Ciencia Abril-Jun* 2006; 14(2).
39. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). TLVs and BEIs. Threshold limit values and Biological Exposure Index. ACGIH, Cincinnati OH; 2007

40. NIOSH. Recomendaciones para la seguridad y la salud: Compendio de documentos de políticas y declaraciones. CDC, DHHS. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH; 1992; pp 92-100. Cincinnati, OH: US Department of Health and Human Services, Public Health Services, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 92-100.
41. Canuel R, Boucher de Grosbois S, Atikessé L, Lucotte M, Arp P, Ritchie C, Mergler D, Man Chan HM, Amyot M and Anderson R. New Evidence on Variations of Human Body Burden of Methylmercury from Fish Consumption (Mini monograph). Environ Health Perspect 2006; 114 (2):302-306.
42. Malm O, Branches F, Akagi H, Castro M, Pfeiffer W, Harada M, Bastos WR, Kato H. Mercury and Metil mercury in fish and human hair from the Tapajós river basin, Brazil. Sci Total Environ. 1995; 175(2):141-150.
43. Veiga M, Baker R. Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-scale Gold Miners. Published by GEF/UNDP/UNIDO Global Mercury Project. Vienna, ISBN 92-1-106429-5. 2004; 289pp.
44. Hightower JM and Moore D. Mercury Levels in High-End Consumers of Fish. Environ Health Perspect. 2003; 114(4):604-608.
45. Oliveira-Santos EC, De Jesús IM, Camara VM, Brabo E, Brito EC, Mascareñas A, Weirich J, Luiz RR, Cleary D. Mercury exposure in Munduruku Indians from the community of Sai Cinza, State of Pará, Brazil. Environmental Res. Section A; Oct. 2002, 90(2):98-103.
46. Dorea JG, Souza JR, Rodrigues P, Ferrari I, Barbosa AC. Hair mercury (signature of fish consumption) and cardiovascular risk in Munduruku and Kayabi Indians of Amazonia. Environ Res. 2005; 97:209-19.
47. National Research Council. Toxicological effects of methylmercury. Washington DC: National Academic Press; Washington; 2000.
48. Mergler D. Review of neurobehavioral deficits and river fish consumption from the Tapajós (Brazil) and St. Lawrence (Canada). Environ Toxicol Pharmacol. 2002; 12:93-9.
49. Grandjean P, White RF, Nielsen A. Metil mercury neurotoxicity in Amazonian children downstream from gold mining. Environ Health Perspect. 1999; 107:587-91.
50. United Nations Environment Program (UNEP) Chemicals. Global mercury assessment. Report No. 54790-01. Geneva; 2002. Pp 258. Disponible en: <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Final%2520Assessment%2520report.htm>



**BIBLIOTEC
CENTRAL** DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FUNDACIÓN CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



Visión

Ser la Biblioteca Central de la Universidad de Carabobo, reconocida por la eficiencia de sus servicios y por el valor de sus aportes a la producción científica y a la calidad de la enseñanza, contribuyendo a la formación de conciencia nacional, apoyada en sus trabajadores, en la alta tecnología e intercambiando información con los centros más avanzados del mundo.

Misión

Coordinar y sostener la Red de Información Académica de la Universidad de Carabobo garantizando su eficacia, eficiencia y coherencia interna. Crear y ejecutar los procedimientos para la oportuna dotación material de las bibliotecas. Promover la formación profesional de los trabajadores del área de la información. Elaborar base de datos y otros productos informacionales con alto valor agregado. Vincular a la Universidad a nivel nacional e internacional mediante el intercambio de información.

Objetivos

Planificar, crear, consolidar y administrar los servicios de información que mejor sirvan al desarrollo de la ciencia, la investigación, la tecnología, la educación, la extensión y la gestión.

Valores

- Trabajo en Equipo
- Ética
- Creatividad
- Vocación de Servicio
- Excelencia

Ofrece Formación en el área de Ciencias de la Información y Tecnología, con los siguientes programas:

Escuela de Información: Diplomado Analista Documentalista, Asistente de Biblioteca, Programa de Actualización de Archivista, Construcción de Indicadores de Gestión de Centros de información y Documentación, Estrategias Gerenciales para no Gerentes.

Escuela de Tecnología: Redes de Área Local y WiMax bajo el programa CISCO, Profesional Certificado Linux, PHP-MYSQL, Java, Microsoft System Engineer, Microsoft Profesional Developer.

URL: <http://www.cid.uc.edu.ve/>

E-mail: fundacid@uc.edu.ve

Ubicación: Urb. Prebo, Av. Andrés Eloy Blanco c/c calle 137-20. Edificio Centro Escorpio, pisos 2 y 3. Valencia, estado Carabobo, Venezuela. Teléfs.: (+58 241) 8222606 – 8222608 – 8222613 – 8240871 8226289. Fax. + 58-241-8212121. Horario de Oficina: 8:00 a.m. a 12:00 m y 2:00 p.m a 5:00 p.m.

FundaCid contribuye permanentemente con la difusión via Internet de la Revista Salus a través del URL:
<http://servicio.cid.uc.edu.ve/fcs/>