



**Documentos**  
***Evaluación de Riesgos en  
Inocuidad de Alimentos***

*Mercurio en peces de aguas  
continentales en Colombia*



# **DOCUMENTOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS EN INOCUIDAD DE ALIMENTOS**

**Evaluación de riesgo de mercurio en peces  
de aguas continentales en Colombia**

**REPÚBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL  
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD**

**Bogotá D. C. 2015**

**ALEJANDRO GAVIRIA URIBE**  
Ministro de Salud y Protección Social

**NORMAN JULIO MUÑOZ MUÑOZ**  
Viceministro de Protección Social

**FERNANDO RUIZ GÓMEZ**  
Viceministro de Salud Pública  
y Prestación de Servicios



**MÁNCEL ENRIQUE MARTÍNEZ DURAN**  
Director General Instituto Nacional de Salud (E)

**OSCAR EDUARDO PACHECO GARCÍA**  
Director de Vigilancia y Análisis  
de Riesgo en Salud Pública (E)

**ALFONSO RAFAEL CAMPO CAREY**  
Subdirector de Prevención Vigilancia  
y Control en Salud Pública

**HERNÁN QUIJADA BONILLA**  
Subdirector de Análisis del Riesgo y  
Respuesta Inmediata

**YULY ANDREA GAMBOA MARÍN**  
Líder Grupo de Evaluación de Riesgos en Ino-  
cuidad de Alimentos ERIA

**GRUPO DE COMUNICACIÓN DEL RIESGO**



## **Evaluación de Riesgo en Inocuidad de Alimentos**

### **Evaluación de riesgo de mercurio en peces de aguas continentales en Colombia**

Instituto Nacional de Salud (INS)  
Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de  
Alimentos (ERIA)

**ISBN 978-958-13-0173-7**

Para citar: Instituto Nacional de Salud, Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos. Evaluación de riesgo de mercurio en Peces de aguas continentales en Colombia. Página. Bogotá, D. C., Colombia. 2015

Todos los derechos reservados. El Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA), autoriza la reproducción y difusión del material contenido en esta publicación para fines educativos y otros fines NO comerciales, sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, especificando claramente la fuente. El Grupo ERIA, prohíbe la reproducción del material contenido en esta publicación para venta, reventa u otros fines comerciales, sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Estas solicitudes deben dirigirse al Grupo ERIA, Avenida calle 26 No 51-20, Bloque B Of 250 o al correo electrónico eria@ins.gov.co.

ERIA 2015

Todos los derechos reservados

Bogotá D.C., Colombia 2015

## **GRUPO DE REDACCIÓN** (Por orden alfabético)

### **Guillermo DUQUE NIVIA**

Biólogo, Ph. D. Oceanografía y Ciencias Costeras

### **José Igor HLEAP**

Ingeniero Pesquero, Ph. D. Ingeniería de Alimentos

### **Claudio JIMÉNEZ CARTAGENA**

Químico Farmacéutico, Ph.D. Ingeniería Ambiental

### **José Luis MARRUGO NEGRETE**

Ingeniero Químico, Ph. D. Ciencias Químicas

### **María Pilar MONTOYA**

Microbióloga Agrícola y Veterinaria

### **Iván Camilo SÁNCHEZ**

Ing. Químico Esp. MSc. Ciencia y Tecnología de Alimentos

### **Héctor SUÁREZ MAHECHA**

Médico Veterinario y Zootecnista, Ph. D. Ciencias de los Alimentos

### **Álvaro WILLS FRANCO**

Zootecnista, MSc. Nutrición Animal

## **EDITOR. Clara Lucía DELGADO MURILLO.**

Observatorio Nacional de Salud ONS, Instituto Nacional de Salud

## **DIAGRAMACIÓN. Giovanni SANABRIA MERCHÁN.**

Grupo de Comunicación de Riesgo. Instituto Nacional de Salud

### REVISORES CIENTÍFICOS INTERNACIONALES

**Lorena Andrea DELGADO RIVERA**

Laboratorio de Biototoxología  
Universidade Federal de Santa Catarina

**Fabio RIBEIRO DA SILVA ANVISA**

Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Brasil

**Ligia Lindner SCHREINER ANVISA**

Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Brasil

### REVISORES CIENTÍFICOS NACIONALES

**Mayra ARRIETA**

Profesional Especializado Grupo de Riesgos Químicos  
de la Dirección de Alimentos y Bebidas Alcohólicas  
(INVIMA). (2014)

**Cristian Camilo DÍAZ**

Profesional Especializado Grupo de Riesgos Químicos  
de la Dirección de Alimentos y Bebidas Alcohólicas  
(INVIMA). (2014)

**Jacqueline ESPINOSA MARTÍNEZ**

Bacterióloga, Epidemióloga, Mg. Gerencia de  
Programas Sanitarios y de Inocuidad de Alimentos  
Grupo ERIA. (2014)

**Andrea GAMBOA MARÍN**

Bacterióloga, MSc. Microbiología. Mg. Gerencia de  
Programas Sanitarios y de Inocuidad de Alimentos  
Grupo ERIA

**Jaime Alberto GUERRERO MONTILLA**

Químico de alimentos. Esp. En Ciencia y Tecnología  
de Alimentos. Grupo ERIA

**Sandra Nayibe VEGA FÉRIZ**

Ingeniera de Alimentos, MSc. Ciencia y Tecnología de  
Alimentos, MSc. Gestión y Seguridad Alimentaria  
Grupo ERIA. (2014)

**Ministerio de Salud y Protección Social**

Dirección de Promoción y Prevención, Dirección de  
Epidemiología y Demografía. (2014)

### COLABORADORES

**Jennyfer ALEJO RIVEROS**

Microbióloga, MSc. Ciencias

**Mary Luz OLIVARES TENORIO**

Ingeniera de Alimentos, MSc. Gestión de la Calidad de  
Alimentos

## RESUMEN

Este documento presenta un estudio sobre la presencia de mercurio total (Hg) y metil mercurio (MeHg) en peces de aguas continentales en Colombia, con base en la metodología de evaluación de riesgos para la inocuidad en alimentos del Codex Alimentarius, abarcando cuatro cuestionamientos que el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) presentó a la Unidad de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA) perteneciente al Instituto Nacional de Salud (INS).

En general se considera que el Hg ingresa a los ecosistemas acuáticos y terrestres donde es metilado, así el MeHg puede acumularse en los organismos acuáticos y biomagnificarse en la cadena trófica. Este proceso puede generar mayores concentraciones de MeHg en peces predadores y cuando es consumida esta carne de pescado, puede llegar a acumularse en ciertos órganos de los individuos generando graves problemas de salud. Los cuestionamientos planteados por el INVIMA fueron respondidos así: las actividades económicas y sus áreas de impacto que contribuyen a la incorporación de Hg en peces de aguas continentales de Colombia son: a. Extracción primaria de metales, especialmente oro y plata, b. Producción de productos químicos y la disposición de sus residuos y c. Uso y disposición de productos con contenido de mercurio; las áreas asociadas están en el Norte de Colombia, en los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge y Nechí, en la región de la Mojana, y en el embalse de Urrá.

Las especies que presentan mayor acumulación de mercurio (Hg) y metilmercurio (MeHg) son: el Bagre rayado, el Blanquillo, la Liseta, la Mojarra amarilla, el Moncholo, la Pacora y la Doncella. El consumo por semana de estas especies que sobrepase los niveles máximos de mercurio aceptados por la OMS puede producir neurotoxicidad, cardiopatías, enfermedad de Minamata, genotoxicidad, teratogénesis y carcinogénesis, alteraciones en niveles hormonales y células reproductivas y alteraciones cognitivas,

entre otras. Las medidas de prevención para minimizar la exposición por consumo de pescado con Hg y con MeHg deben ser: establecer medidas de restricción para evitar el consumo de especies con elevados niveles de mercurio, determinar niveles de consumo (día, semana, mes) de pescado en las zonas de alto riesgo, instituir el consumo de alimentos fortificados en Selenio en las zonas reconocidas como de alto riesgo, crear programas y políticas de prevención y monitoreo de Hg en pescado, entre otras.

## Contenido

<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>15</b>
Justificación del Gestor	15
Alcance	16
Objetivo	17
Términos de referencia	17
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
<b>1. Identificación del peligro</b>	<b>23</b>
1.1 Características químicas	23
1.2 Ciclo del Mercurio (Hg)	24
1.3 Emisiones de mercurio	25
1.3.1 Fuentes de combustión y producción de Mercurio	25
1.3.2 Actividades económicas asociadas a la emisión de Hg en Colombia	26
1.4 Cadena productiva de pesca y acuicultura en Colombia	29
1.5 Zonas de Colombia con presencia de Mercurio	33
1.6 Contexto internacional	34
1.7 Contexto nacional	36
1.7.1 Métodos de detección para determinación de HgT y MeHg	38
<b>2. Caracterización del peligro</b>	<b>41</b>
2.1 Cinética y metabolismo	41
2.2 Bioacumulación y biomagnificación	41
2.3 Efectos adversos en humanos	43
2.3.1 Neurotoxicidad	43
2.3.2 Genotoxicidad	44
2.3.3 Otros efectos	45
2.4 Ingesta admisible	46
<b>3. Evaluación de la exposición</b>	<b>51</b>
3.1 Contexto internacional de Mercurio en pescado	51
3.2 Contexto nacional presencia de Mercurio en pescado	52
3.3 Consumo de pescado	56
3.4 Estimación de la exposición en Colombia	56
<b>4. Caracterización del riesgo</b>	<b>61</b>
4.1 Consideraciones de la estimación	61
4.2 Estimación del porcentaje sobre la dosis de referencia y máximo consumo recomendado	62

<b>5. Medidas de control y prevención</b>	<b>67</b>
5.1 Colombia	67
5.2 Iniciativas globales relacionadas con la disminución del uso y disposición de Hg	68
5.2.1 Experiencia de Suecia	69
5.2.2 Experiencia de Finlandia	70
5.2.3 Experiencia de Estados Unidos	71
5.2.4 Experiencia del Ártico	71
5.2.5 Convenio de Minamata	71
5.3 Otras medidas	72
<b>6. Conclusiones</b>	<b>73</b>
<b>7. Recomendaciones</b>	<b>79</b>
<b>8. Vacíos de información</b>	<b>83</b>
<b>9. Glosario</b>	<b>85</b>
<b>10. Abreviaturas, siglas y acrónimos</b>	<b>91</b>
<b>11. Bibliografía</b>	<b>93</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b>	Ciclo del Hg en el medio acuático	24
<b>Figura 2.</b>	Transformaciones en el ciclo biogeoquímico del Hg	25

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b>	Actividades que generan emisiones de Hg en Colombia según PNUMA	27
<b>Tabla 2.</b>	Otras actividades que generan emisiones de Hg en Colombia no incluidas en PNUMA	28
<b>Tabla 3.</b>	Registro pesquero nacional desembarcado (kg), durante el trimestre abril–junio de 2011.	31
<b>Tabla 4.</b>	Producción piscícola en toneladas por departamentos 2010	32
<b>Tabla 5.</b>	Inventario piscícola en granjas, estanques y espejos de agua 2010	32
<b>Tabla 6.</b>	Estudios representativos sobre presencia de Hg en muestras de cabello y sangre	35
<b>Tabla 7.</b>	Hallazgos de Hg en matrices biológicas (cabello) de población colombiana.	38
<b>Tabla 8.</b>	Métodos de detección para determinación de HgT y MeHg en peces y seres humanos	39
<b>Tabla 9.</b>	Reportes de efectos adversos en humanos-estudio en fluidos y tejidos biológicos	45
<b>Tabla 10.</b>	Niveles máximos permitidos o recomendados de Hg en el pescado e ingestas tolerables	48
<b>Tabla 11.</b>	Niveles de referencia establecidos para MeHg.	49
<b>Tabla 12.</b>	Niveles de Hg total presente en especies piscícolas de la Mojana	53
<b>Tabla 13.</b>	Concentraciones de mercurio total (HgT) y metilmercurio (MeHg) en tejido muscular de pescados de Colombia	54
<b>Tabla 14.</b>	Consumo de pescado por la población colombiana, 2005	56
<b>Tabla 15.</b>	Exposición calculada de HgT para las especies reportadas en los estudios de las tablas 12 y 13	58
<b>Tabla 16.</b>	Exposición calculada de MeHg para las especies reportadas en los estudios de las tablas 12 y 13	60
<b>Tabla 17.</b>	Porcentaje de la PTWI en relación con la exposición calculada en el numeral 5 para HgT	63
<b>Tabla 18.</b>	Porcentaje de la PTWI en relación con la exposición calculada en el numeral 5 para MeHg	65

## JUSTIFICACIÓN

### Justificación del Gestor

“La exposición e intoxicación por mercurio (Hg) ha sido referenciada en muchas ocasiones y lugares: en la década de 1960 en Pakistán, Guatemala, Yugoslavia; en Japón (Minamata y Niigata) 1953, 1960 y 1965; en Irak 1972 (1, 2) y en Colombia Mamonal 1975 (3). En todas las ocasiones se trató de exposiciones accidentales a sus derivados orgánicos metilmercurio (MeHg) y etilmercurio (EtHg)”. El uso indiscriminado de precursores químicos en actividades ilícitas como la minería ilegal de oro, que se ha incrementado considerablemente en los últimos años, el vertimiento de aguas servidas y otras actividades industriales y prácticas agrícolas inadecuadas son las principales causas antropogénicas de la presencia de Hg en cuerpos de agua (4). Lo anterior, ha llevado a que la contaminación química por Hg, sea una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y también las especies presentes en ellos. Los peces cuentan con la capacidad de almacenar al interior de su organismo una concentración mayor de este tipo de compuestos comparado con la que se encuentra presente en el medio acuático, lo que implica su consumo se puede convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso.

El Hg es biomagnificado casi totalmente por los peces en forma de MeHg, una sustancia altamente tóxica y de fácil fijación en los tejidos musculares y adiposos, convirtiéndola en pieza clave en el transporte de este metal en las cadenas alimentarias acuáticas que terminan finalmente en el consumo humano. El Hg normalmente se acumula en sedimentos en el fondo de los cuerpos de agua, donde los microorganismos que viven allí lo convierten a la forma orgánica MeHg, que es absorbido y fijado por la biota que vive en los sedimentos. Este compuesto se acumula en los peces que comen estos animales y en los peces más grandes que comen a los peces más pequeños.

De esta manera, el MeHg que es una sustancia mucho más tóxica que otras formas de Hg y que por sus características de solubilidad en lípidos y su facilidad para atravesar membranas se distribuye a través de todo el organismo, finalmente, se acumula en los peces a concentraciones mucho más elevadas que las presentes en el agua.

De esta forma, el Hg se ha constituido en uno de los elementos contaminantes más importantes con efectos demostrados sobre la salud pública, ya que se estableció que las personas o poblaciones expuestas a niveles bajos pueden desarrollar alteraciones en las funciones del sistema nervioso central el cual es especialmente sensible al MeHg, con consecuencias neurofisiológicas particularmente en el desarrollo de los fetos y en los niños pequeños. Desde el punto de vista químico, el enlace carbono-Hg presente en el MeHg (HC-Hg) es muy estable y la presencia del Grupo Alquilo, el cual es apolar, confiere solubilidad lipídica permitiendo la fácil penetración por las membranas celulares. Alrededor del 90% de todo el MeHg presente en los alimentos es absorbido a través del tracto gastrointestinal por el hombre.

Seguido de tal absorción, gran parte del compuesto presente en el plasma es acumulado por los glóbulos rojos (eritrocitos) en una relación 300 a 1. Esto permite un eficiente transporte a través de todo el organismo y una distribución uniforme en tejidos y órganos. La solubilidad y la habilidad para unirse a macromoléculas biológicas, especialmente proteínas, resulta en una larga vida media en varios organismos. El INVIMA considera de alta relevancia hacer una evaluación del riesgo de presencia de Hg en peces de aguas continentales en Colombia, debido a que los monitoreos que se realizan actualmente de esa sustancia en peces, se está haciendo con fines de comercio exterior y no con un enfoque de salud pública, por lo que el diseño estadístico y el tamaño de la muestra no son extrapolables a este fin."

### Alcance

El presente documento evalúa el riesgo asociado al consumo de peces de aguas continentales de Colombia; entiéndase como actividades en aguas continentales a la pesca y la acuicultura (se excluye la evaluación de riesgo de los productos de esta actividad por falta de información), y excluye a las especies marítimas. La bibliografía consultada para la realización de

esta evaluación de riesgos corresponde a las publicaciones del periodo comprendido entre el año 1996 a 2011; sin embargo, la información relevante publicada con anterioridad y que se consideró de importancia también se tuvo en cuenta para este documento.

### Objetivo

Determinar el riesgo de sufrir efectos adversos asociados al consumo de pescado contaminado con mercurio proveniente de aguas continentales en Colombia y establecer las posibles medidas de prevención y estrategias de intervención para minimizar la exposición de la población colombiana a este peligro.

### Términos de referencia

1. ¿Cuáles son las actividades económicas y sus áreas de impacto, que contribuyen en mayor proporción a la incorporación de mercurio (Hg) en peces de aguas continentales de Colombia?
2. ¿Cuáles son las especies que podrían presentar mayores acumulaciones de mercurio (Hg) y metilmercurio (MeHg) identificadas en el término de referencia 1?
3. ¿Cuál es el riesgo asociado al consumo de las especies identificadas en el término de referencia, numeral 2?
4. ¿Cuáles son las medidas de prevención para minimizar la exposición por consumo de pescado con Hg y con MeHg y las posibles estrategias de intervención?

## INTRODUCCIÓN

La presencia de mercurio (Hg) en los ecosistemas acuáticos representa un riesgo para la salud de la población por su facilidad para biomagnificarse en los peces (5, 6). La transformación de Hg inorgánico a orgánico como metilmercurio (MeHg) principalmente es el primer paso en el proceso de bioacumulación acuática. El MeHg formado entra en la cadena alimentaria de las especies depredadoras en las que se acumula; a mayor peso y más prolongada la vida del organismo, la cantidad acumulada puede aumentar. El Hg aportado al ciclo anterior por las actividades del hombre (fuentes antropogénicas) es mayor que por causas naturales, y representa un elevado riesgo de toxicidad en áreas geográficas donde se desarrollan las actividades de emisión (7).

Las fuentes antropogénicas de emisión más relevantes son: la propia minería del Hg, la extracción y uso de combustibles, la obtención de metales y su reciclaje, la producción de materias primas y derivados químicos, industrias de productos de consumo con uso intencional de Hg, disposición de residuos en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales e incineración de residuos entre otros (8). Colombia es considerada como el tercer país del mundo en incidencia de contaminación con Hg, en su mayoría asociada a la extracción y amalgamación de oro (9, 10).

La exposición a niveles altos de Hg puede perjudicar órganos como: el cerebro, el corazón, los riñones, los pulmones y el sistema inmunológico de personas de todas las edades. Se sabe que el MeHg es la forma más tóxica del metal, actuando como un potente agente neurotóxico y su principal fuente de transferencia a los humanos es el consumo de pescados contaminados (11). Se ha demostrado que los altos niveles de éste compuesto en las vías sanguíneas de los bebés por nacer y los niños pequeños, pueden ser perjudiciales para el sistema nervioso en desarrollo, dificultando así, su proceso de razonamiento y aprendizaje (12). En algunos casos, el contenido elevado de MeHg en los peces, contrarresta los efectos benéficos de los ácidos grasos Omega-3, disminuyendo así su acción cardioprotectora (13).

El pescado se considera un alimento saludable, por su aporte proteico y de ácidos grasos omegas, y algunos otros nutrientes esenciales como Yodo, Selenio, Calcio, Vitamina A y D (14). Por lo tanto, varias organizaciones internacionales entre las cuales se puede destacar la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), recomiendan el consumo de pescado bajo en MeHg, hecho por el cual es necesario implementar sistemas nacionales de monitoreo de los niveles de Hg en sus diferentes formas, por parte de los gobiernos locales. De esta manera se podrán generar alertas y comunicarlás a la población en general y en especial a la de mayor vulnerabilidad (mujeres en edad fértil, mujeres embarazadas, madres en período de lactancia) e informar sobre la frecuencia en que deben consumir ciertos tipos de pescado (12).

El uso indiscriminado de precursores químicos en actividades como la minería ilegal de oro, el vertimiento de aguas servidas y otro tipo de compuestos relacionados con actividades industriales y prácticas agrícolas inadecuadas, son las principales causas de la presencia de Hg en cuerpos de agua. Lo anterior, ha llevado a que la contaminación por Hg, sea una de las de mayor impacto para los ecosistemas acuáticos y también para las especies presentes en ellos.

Los peces tienen capacidad de almacenar una concentración mayor de este tipo de compuestos comparado con la presente en el medio acuático, lo que implica que su consumo se puede convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso; adicionalmente, en los últimos años se ha reportado un apreciable incremento en la concentración de Hg en los peces de embalses o reservorios, asociados a procesos biogeoquímicos que tienen que ver con este metal desde fuentes antropogénicas o naturales (15-17).

El Hg es depositado en los sedimentos, donde los microorganismos lo convierten principalmente a MeHg, el cual es biomagnificado a través la cadena trófica hasta su acumulación en tejido muscular y adiposo. Se ha encontrado que aproximadamente el 40% del Hg contenido en peces se bioacumula en forma de MeHg; sin embargo, en algunos casos su concentración puede llegar al 100% (18). Una vez absorbido, se acumula en los glóbulos rojos, permitiendo la distribución uniforme en tejidos y órganos.

En el cuerpo humano, el MeHg se acumula tanto en el cerebelo como en la corteza cerebral donde es fuertemente enlazado a las proteínas a través de los grupos sulfhídricos. Una de las propiedades del compuesto es su alta capacidad para atravesar la barrera placentaria en forma de un complejo de Hg-cisteína. La velocidad de transporte del MeHg a través de la barrera placentaria es 10 veces mayor respecto al Hg inorgánico, lo que convierte a los fetos y a sus madres en una población de alto riesgo. En la actualidad, se sabe que el MeHg es la forma más tóxica del metal, actuando como un potente agente neurotóxico y su principal fuente de transferencia a los humanos es el consumo de peces contaminados (19).

# 1 Identificación del peligro

## 1.1 Características químicas

El Hg es uno de los contaminantes que más preocupa a nivel mundial por su persistencia en el ambiente y transferencia en las cadenas alimentarias hasta los seres humanos. En su forma inorgánica existe en la naturaleza en tres estados de oxidación: metálico ( $\text{Hg}^0$ ), mercurioso ( $\text{Hg}^+$ ) y mercuríco ( $\text{Hg}^{2+}$ ); las formas:  $\text{Hg}^+$  y  $\text{Hg}^{2+}$ , pueden formar numerosos compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. La mayor parte del Hg presente en el ambiente (exceptuando la atmósfera) se encuentra en forma de sales mercurícas inorgánicas y compuestos orgánicos de Hg (20).

Los compuestos de Hg más comunes en el ambiente son:

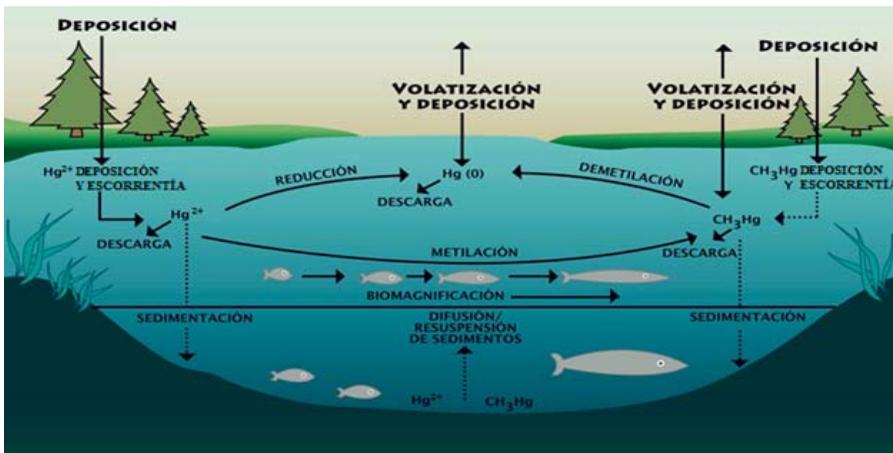
- a. Las especies inorgánicas de  $\text{Hg}^{2+}$ : cloruro de Hg ( $\text{HgCl}_2$ ), hidróxido de Hg ( $\text{Hg}(\text{OH})_2$ ) y sulfuro de Hg ( $\text{HgS}$ );
- b. Los compuestos orgánicos de MeHg: cloruro de MeHg ( $\text{CH}_3\text{HgCl}$ ) e hidróxido de MeHg ( $\text{CH}_3\text{HgOH}$ );
- c. En menores proporciones, otros organomercuriales como diMeHg ( $\text{CH}_3\text{HgCH}_3$ ) o fenilHg ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^+$ ) (21).

Los compuestos de Hg suelen permanecer en la fase acuosa como moléculas no disociadas, dando lugar a valores bajos de solubilidad. Las especies inorgánicas de  $\text{Hg}^{2+}$  varían en su solubilidad, por ejemplo el  $\text{HgCl}_2$  es muy soluble en agua, mientras que el  $\text{HgS}$  es prácticamente inerte debido a la afinidad del Hg por el Azufre. Por su parte, la mayoría de organomercuriales son insolubles y no reaccionan con ácidos débiles o bases; sin embargo, el  $\text{CH}_3\text{HgOH}$  es muy soluble debido a la gran capacidad del grupo hidroxilo para formar puentes de hidrógeno (18).

## 1.2 Ciclo del Mercurio (Hg)

La mayoría de los estudios sobre el ciclo acuático del Hg se han desarrollado en ambientes dulceacuícolas. Tal como lo representa la Figura 1, el Hg ingresa a los ecosistemas acuáticos por deposición húmeda y seca sobre la superficie del agua o por escorrentía de las cuencas (22). Al igual que en los sistemas terrestres, la deposición húmeda es predominante como  $Hg^{2+}$ , el cual puede ser reducido a  $Hg^0$  y volatilizado nuevamente a la atmósfera (23). Una fracción del  $Hg^{2+}$  es convertido a MeHg en un proceso de metilación biológicamente mediado en el que algunas cepas de bacterias reductoras de Azufre y Hierro son consideradas las principales responsables (24-26) y cuyo detalle esta descrito en la Figura 2. Los sedimentos de los humedales y lagos son ambientes importantes para la metilación (27). El MeHg puede acumularse en los organismos acuáticos y biomagnificarse en la cadena trófica. Este proceso puede generar mayores concentraciones de MeHg en peces predadores respecto al agua; se estima una relación de concentración peces predadores/agua  $\geq 106$  (23).

Figura 1. Ciclo del Hg en el medio acuático

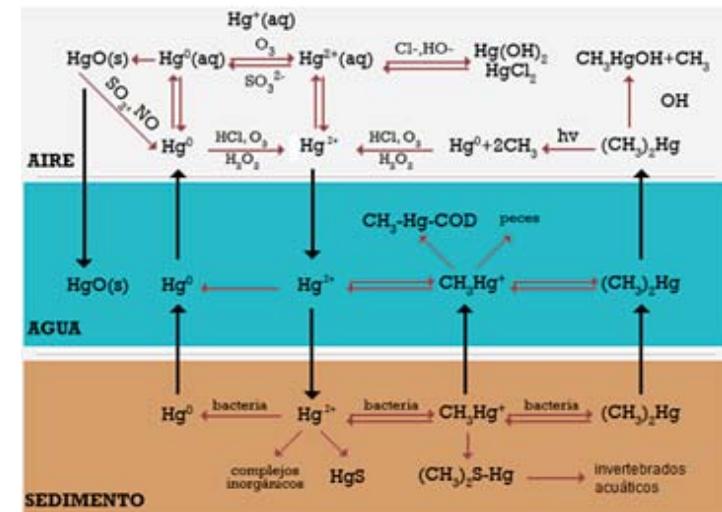


Fuente: adaptado de Porvari, 2003 (28)

La forma  $Hg^{2+}$  más soluble es sintetizada a través de la conversión de  $Hg^0$  a  $Hg^{2+}$  en presencia de microorganismos aerobios (29, 30). Éstos, también pueden llevar a cabo la oxidación del Hg a partir del HgS en el sedimento. Factores

como las concentraciones de sulfuros, el carbono orgánico, la estructura y la composición de los sedimentos, la temperatura, los bajos niveles de pH y la concentración de Oxígeno, han sido descritos como determinantes en la producción de MeHg (16, 22, 31).

Figura 2. Transformaciones en el ciclo biogeoquímico del Hg



Fuente: adaptado de Morel, 1998 (18)

## 1.3 Emisiones de mercurio

### 1.3.1 Fuentes de combustión y producción de Mercurio

Las fuentes antropogénicas de emisiones de Hg están enmarcadas dentro de las categorías que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) identificó en 2010:

- Producción y uso de combustibles/fuentes de energía
- Producción de metales y metales reciclados
- Producción de materias primas y productos químicos
- Procesos y producción de productos de consumo con uso intencional de Hg; uso y disposición de productos y sustancias con contenido de Hg
- Disposición de residuos rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales
- Incineración de residuos, hornos crematorios y cementerios

Entre las emisiones que generan mayor riesgo para las personas, se destacan: emisión de vapor de Hg a partir de las amalgamas dentales y el EtHg en forma de timerosal utilizado en conservación de vacunas (32, 33); emisiones a partir de las explotaciones mineras y procesos de descapote del suelo; uso del Hg como amalgamador en la minería de oro y el consumo de pescado procedente de zonas impactadas por la actividad minera (34).

Adicionalmente, otras fuentes de emisión de Hg son el uso de:

- Pilas o baterías a partir de celdas de Zn/Hg
- Compuestos de Hg que tienen actividad fúngica presentes en pinturas y coberturas de depósitos de semillas
- Sales utilizadas como catalizadores para la producción de cloruro de vinilo, acetato de vinilo y acetaldehído y amalgamas dentales, fabricación de aparatos eléctricos, lámparas, rectificadores de corriente, termómetros, barómetros, instrumentos de navegación, producción de cemento y producción de pasta de papel y papel (35)

### 1.3.2 Actividades económicas asociadas a la emisión de Hg en Colombia

En la Tabla 1, se presentan las diferentes categorías y sub-categorías de actividades que generan emisiones de Hg referidas por el PNUMA (36) y se indica si éstas aplican en Colombia; a su vez en la Tabla 2, se mencionan categorías adicionales no contempladas en el documento de PNUMA y de la misma forma se indica si aplican en el territorio nacional.

Tabla 1. Actividades que generan emisiones de Hg en Colombia según PNUMA

CATEGORÍAS	SUB-CATEGORÍAS	APLICA
Consumo de energía	Combustión de carbón en grandes centrales de energía	Si
	Combustión y uso de diésel, petróleo y queroseno	
	Otros usos del carbón	
	Combustión y uso de coque de petróleo y crudos pesados	No
	Biomasa quemada para producción de energía y calor	
Producción de combustibles	Carbón de leña	N.D
	Extracción de petróleo y refinación	Si
Producción primaria de metales	Extracción y procesamiento de gas natural	
	Extracción primaria y procesamiento de Hg	No
	Producción de zinc y cobre desde concentrados	
	Producción de plomo desde concentrados	
	Extracción de oro mediante procesos distintos de la amalgamación de Hg	Si
Producción de otros materiales	Producción de aluminio o alúmina desde la bauxita	
	Producción Primaria de metales ferrosos (Hierro, acero)	
	Extracción de oro mediante amalgamación con Hg, con y sin uso de retortas	Si
	Producción de cemento	
Producción de químicos	Producción de pulpa y papel	Si
	Producción de Cloro-álcali con celdas de Hg	Si
	Producción monómeros de cloruro de vinilo usando tecnología con Hg	N.D
Producción de productos con contenido de Hg	Producción de acetaldehído usando Hg como catalizador	N
	Termómetros (médicos, aire, laboratorio, industriales)	
	Interruptores eléctricos y relé con uso intencional de Hg	
	Fuentes de luz con Hg (fluorescentes, compactas, otros)	
	Baterías con Hg	No
	Manómetros y medidores de Hg	
	Biocidas y plaguicidas con Hg	
	Pinturas con Hg	
	Cremas y jabones para el cuidado de la piel con Hg	
	Uso y disposición de productos con contenido de Hg	Empastes dentales de amalgama
Termómetros		
Interruptores eléctricos		
Fuentes de luz con Hg		Si
Tensiómetros médicos		
Otros manómetros y medidores de Hg		
Laboratorios químicos		
Otros laboratorios y equipos médicos con Hg		
Poliuretano (PU, PUR) producido con catálisis de Hg		No
Pinturas con Hg como preservante		
Cuidado de la piel cremas y jabones con productos químicos de Hg	N.D	
Baterías con Hg		
Producción de metales reciclados	Producción de Hg reciclado ("producción secundaria")	Si
	Producción de metales ferrosos reciclados (Hierro y acero)	
Incineración de residuos	Incineración de residuos municipales/generales	Si
	Incineración de residuos peligrosos	
	Incineración de residuos médicos	N.D
	Incineración de lodos cloacales	Si
Disposición de residuos/ rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales	Quema de residuos a cielo abierto (en rellenos sanitarios informales)	Si
	Rellenos sanitarios/depósitos controlados	
	Vertederos informales de residuos	Si
Crematorios y cementerios	Sistemas de tratamiento de aguas residuales	
	Crematorios y cementerios	Si

Fuente: adaptado de PNUMA (36)

Convenciones: falta información (N.D)

Tabla 2. Otras actividades que generan emisiones de Hg en Colombia no incluidas en PNUMA

FUENTE	APLICA
Combustión de pizarra bituminosa	
Combustión de turba	
Producción de energía geotérmica	
Recubrimiento de semillas con químicos de Hg	
Hg usado en rituales religiosos (amuletos y otros usos)	NO
Hg usado en medicinas tradicionales (ayurvédica y otros) y en medicina homeopática	
Uso de Hg como refrigerante para ciertos sistemas de enfriamiento	
Juguetes	
Lociones bronceadoras	
Pigmentos (pinturas industriales)	
Producción de otros metales reciclados	
Producción de cal	
Producción de agregados livianos (piezas de barro quemado para construcción)	
Cloruro e hidróxido de sodio producido a través de la tecnología de celda-Hg	
Semi-conductores con detección infrarroja	
Tubos Bougie y tubos Cantor (médicos)	
Usos educacionales	
Giroscopios con Hg	
Bombas de vacío con Hg	SI
Faros (nivelando los rodamientos para las luces de navegación)	
Hg en los rodamientos de gran tamaño en las partes mecánicas rotativas por ejemplo en plantas de tratamiento de aguas residuales más antiguas	
Productos para el oscurecimiento y gravado de acero	
Ciertos tipos de papel de color para fotografía	
Suavizadores de arranque para rifles	
Explosivos (por ejemplo fulminato de Hg)	
Fuegos artificiales	
Producción de poliuretano con catalizador de Hg	N.D

Fuente: adaptado de (36)

Convenciones: falta información (N.D)

Colombia es considerado el tercer país del mundo con mayor incidencia de contaminación con Hg (50-100 t/año), en su mayoría asociada a la extracción y amalgamación de oro (37); de igual forma, en municipios del nordeste antioqueño se reportan concentraciones mayores de 50.000 ng/m<sup>3</sup> (10). La información y registros disponibles sobre actividades económicas asociadas son limitados y en algunos casos de carácter no oficial. De acuerdo con el inventario nacional de Hg en Colombia para el 2009, se liberaron aproximadamente 345.570 kg de Hg, de los cuales 151.650 kg al suelo; 74.420 kg al aire; 45.400 por tratamiento o disposición; 31.260 kg al agua; 28.190 kg como subproductos o impurezas y 14.650 kg en residuos generales (38). En conclusión, las actividades económicas asociadas a la emisión de Hg son:

- Extracción primaria de metales, especialmente oro y plata
- Producción de químicos y la disposición de residuos
- Uso y disposición de productos con contenido de Hg

## 1.4 Cadena productiva de pesca y acuicultura en Colombia

La pesca y la acuicultura en Colombia, son dos actividades de suma importancia dentro del sector agropecuario, destacándose por su crecimiento en los últimos años tanto por su viabilidad, como por su potencialidad para el desarrollo social y económico del país. Constituyen una actividad de interés público y se practica tanto a nivel marítimo como en las cuencas hidrográficas continentales, especialmente de los ríos Orinoco, Magdalena, Cauca, San Jorge, Amazonas, Atrato y Sinú; además de los diferentes cuerpos de aguas lagunares, represados y cenagosos (39).

Según la “Agenda Nacional de Investigación en Pesca y Acuicultura (IICA) (39)”, la pesca continental es artesanal y de subsistencia, y está dirigida a la extracción de especies ornamentales y de consumo como bagres, characidos y cíclidos en los ríos principales, tributarios y sus planicies inundables. De acuerdo a registros estadísticos de la Corporación Colombia Internacional (CCI), la producción total anual registrada, según desembarcos de captura y cosecha en el país fue de 162.447 toneladas (t) en el 2010, de los cuales 38% lo aportó la pesca marina, 13% la pesca continental, y 49% la acuicultura (9% marina y 40% continental) (40).

Se ha evidenciado una disminución de los recursos disponibles para captura en las aguas interiores del país, teniendo en cuenta que para 1976 se producían alrededor de 75.000 t anuales y para el 2010 se reportaron 20.221 t (39). La acuicultura continental se practica, principalmente en los departamentos de la Región Andina, y en menor cuantía en las regiones de la Amazonía y la Orinoquía, con casi todos los cultivos en el pie de monte de la Cordillera Oriental. Igualmente, existen cultivos en algunos departamentos del Litoral Caribe (Córdoba, Bolívar, Magdalena) y de la región Pacífica (Valle del Cauca, Cauca, Nariño y Chocó) (IICA 2012).

Por su parte, la piscicultura continental es de carácter artesanal (ornamental o de consumo). Las cuencas hidrográficas que soportan mayor presión de pesca son las correspondientes a los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge, Arauca, Meta, Amazonas, Sinú y Atrato, junto a sus planos de inundación, tipo ciénagas o esteros. La pesca ornamental se practica a nivel comercial, especialmente, en la Orinoquía y la Amazonía. Frente a la anterior información, las cifras de desembarco de la CCI (40), indicaron que la pesca

continental nacional aportó 20.221 t en el año 2010, evidenciándose una disminución de más de 50% de las capturas en los últimos 15 años. Como referencia, la principal cuenca productiva del país, ríos Magdalena–Cauca–San Jorge, producía 78.847 t/año de pescado en 1974, y en 2008 7.182 t/año (ICA, INCODER, 1992–2008).

Gutiérrez, F.P., (2010), indicó que la cuenca del Río Grande de la Magdalena está altamente impactada, mostrando dos periodos de producción: uno de altos niveles hasta el año de 1987, y dos posterior a 1987; a partir de allí declina ostensiblemente la producción, denotando que el sistema está colapsado biológicamente. Esto en concordancia con lo expresado por Barreto y Borda, (2008), quienes afirmaron que las pesquerías continentales empezaron a declinar ostensiblemente desde 1997, debido a:

- a. La contaminación generalizada de las cuencas hidrográficas
- b. Deforestación de las riberas
- c. La sobreexplotación
- d. El uso indebido de artes y métodos de pesca que ocasionaron la disminución de las tallas medias de captura (TMC) y las tallas medias de madurez (TMM), de todas las especies

Además, según el Instituto Humboldt (41), entre 1974 y 1995 la reducción de la pesca en la cuenca fue del 85%, y si en el año 2008 la producción fue de 7.182 t, es evidente la amenaza de extinción de varias especies, no solo económica sino biológicamente, considerando que, de acuerdo a información de la CCI (40), se estima que más del 70% de las capturas correspondieron a peces por debajo de la talla mínima reglamentada, especialmente de especies como el bocachico, la dorada, el nicuro y el bagre, entre otros.

De acuerdo a la información recopilada, desde hace cerca de 30 años, no se han realizado, a nivel de cuencas hidrográficas del país, estudios específicos relacionados con la dinámica de poblaciones, potenciales procesos productivos, comportamientos migratorios y ciclos de vida, tales como características, épocas y sitios de reproducción, crecimiento y establecimiento o ajuste de tallas mínimas de captura, pues se indica que especies tales como el bagre rayado y el bocachico, presentan con mucha frecuencia, estados de madurez avanzada o desoves en tallas menores que la mínima reglamentada.

En conclusión, es evidente que el ejercicio de la pesca continental no presenta las suficientes bases técnicas ni científicas que sustenten un manejo racional y sostenible, en términos de vedas de pesca y comercialización de especies, tallas mínimas de captura, características selectivas y operativas de artes de pesca, zonas de reserva y protección de recursos pesqueros, lo cual limita la formulación y operación de planes de ordenamiento pesquero. En la Tabla 3, se muestran los últimos datos reportados por el Boletín Trimestral 60 del Sistema de Información de Pesca y Acuicultura concernientes al trimestre abril – junio de 2011 (42).

Tabla 3. Registro pesquero nacional desembarcado (kg), durante el trimestre abril–junio de 2011.

CUENCA	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL (kg)	APORTE (%)
Amazonas	864.369	308.108	293.065	1.465.542	10,1
Atrato	298.046	76.922	38.469	413.437	2,8
Magdalena	1.104.731	1.038.849	1.204.944	3.348.524	23,0
Orinoco	134.544	31.184	28.573	194.310	1,3
Sinú	29.427	20.897	22.698	73.023	0,5
Total pesca continental	2.431.128	1.475.960	1.587.748	5.494.836	37,8

Fuente: adaptado de Corporación Colombia Internacional, 2011 (42)

La producción acuícola continental ha tenido un crecimiento progresivo desde el 2000, siendo las granjas piscícolas de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Casanare, Córdoba, Cundinamarca, Huila, Meta, Santander, Tolima y Valle del Cauca, aquellas que mayor aportan a la producción nacional (92%) (39) alcanzando las 63.166 t en 2010 (43). La tilapia roja es la especie que aporta el mayor volumen con el 62% de la producción, seguida por la cachama (16%), la tilapia plateada (14%), la trucha (5%) y otras especies (3%). Por departamentos, el Huila representa el 47,65% de la producción, el Meta el 16,19%, Tolima el 7,05%, Antioquia el 6,09% y el Valle del Cauca el 3,89% (Tabla 4). La producción piscícola de todas las especies, a pesar de que se encuentra en casi todos los departamentos de la Región Andina, se concentra de manera significativa en el Huila (47,65%) y en el Meta (16,91%).

La mayoría de las granjas (92%) usan estanques o piscinas en tierra, mientras que el 8% restante produce con el sistema de jaulas, establecidas en diferentes cuerpos de agua. En las Tabla 4 y Tabla 5 se presenta la información departamental, relativa a la producción piscícola, al número de granjas, cantidad de estanques, jaulas y el espejo de agua correspondiente.

Tabla 4. Producción piscícola en toneladas por departamentos 2010

DEPARTAMENTO	TOTAL	TILAPIA ROJA	TILAPIA PLATEADA	CACHAMA	TRUCHA	OTROS
Antioquia	3.849	2.103	301	570	1.093	52
Boyacá	1.302	387	32	53	801	28
Casanare	1.681	1.286	0	390	0	5
Córdoba	970	82	13	709	0	166
Cundinamarca	960	405	11	203	331	11
Huila	30.099	19.592	8.627	1.181	77	622
Meta	10.225	7.733	26	2.422	0	44
Santander	2.534	915	80	1.272	57	30
Tolima	4.452	3.450	91	805	30	76
Valle del Cauca	2.456	1.418	31	765	5	236
Otros	4.818	1.510	0	1.879	478	951
Total Nacional	63.166	38.881	8.942	10.251	2.873	2.219

Fuente: adaptado del diagnóstico de la acuicultura en Colombia, 2011 (44)

Tabla 5. Inventario piscícola en granjas, estanques y espejos de agua 2010

SISTEMA PRODUCCIÓN	DEPARTAMENTO	GRANJAS	ESTANQUES O JAULAS	SUPERFICIE ESPEJO DE AGUA (m <sup>2</sup> )	ESTANQUES O JAULAS (PROM. m <sup>2</sup> )	ESTANQUES POR GRANJA (PROM.)	ESPEJO DE AGUA POR GRANJA (ÁREA PROM. m <sup>2</sup> )	
Estanques	Meta	812	5.055	9.601.777	1.889	6	11.825	
	Huila	623	3.573	4.238.725	1.186	6	6.804	
	Córdoba	206	1.141	2.675.369	2.345	6	12.987	
	Valle del Cauca	377	1.306	2.017.903	1.545	3	5.353	
	Tolima	1.201	3.338	2.006.812	601	3	1.671	
	Casanare	196	1.429	1.151.106	806	7	5.873	
	Santander	525	2.243	1.053.977	470	4	2.008	
	Cundinamarca	363	1.632	790.899	485	4	2.179	
	Antioquia	205	2.433	635.824	261	12	3.102	
	Boyacá	199	1.374	211.765	154	7	1.064	
	Nariño	186	527	4.663	9	3	25	
	Subtotal estanques		4.893	24.051	24.388.820	1.014	5	4.984
	Huila	77	1.029	361.264	351	13	4.692	
	Nariño	52	640	11.670	18	12	224	
Tolima	6	101	8.828	87	17	1.471		
Jaulas y Jaulones	Boyacá	9	142	4.618	33	16	513	
Córdoba	6	39	691	18	7	115		
Antioquia	3	59	464	8	20	155		
Santander	1	17	100	6	17	100		
Meta	1	9	50	6	9	50		
Subtotal Jaulas y Jaulones		101	2.036	387.685	190	20	3.838	
Total	4.808	26.087	24.776.505	950	5	5.153		

Fuente: adaptado del diagnóstico de la acuicultura en Colombia, 2011 (44)

El rango de área de espejo de agua en las granjas piscícolas, con una significativa dispersión en los tamaños medios de los diferentes departamentos, oscila entre 25 m<sup>2</sup> en Nariño, hasta 1,3 hectáreas en Córdoba, con concentración mayor de espejo de agua en Meta y Huila. Además, la dispersión de tamaños en las jaulas también es alta.

De acuerdo Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER) (44), esta dispersión de tamaños puede generar varias hipótesis, desde la no aplicación de parámetros técnicos homogéneos en los cultivos, bajos niveles de capacidad de inversión, minifundio acentuado, deficiente o nula asistencia técnica entre otros aspectos; lo que seguramente se verá reflejado en las condiciones productivas y en los resultados económicos de los cultivos. Es necesario iniciar estudios en el país de contenido de MeHg de peces provenientes de la acuicultura tanto de estanques como de embalses.

### 1.5 Zonas de Colombia con presencia de Mercurio

En Colombia, hay evidencia de contaminación con Hg en peces provenientes de zonas dedicadas a la minería de oro (9, 45-48). Zonas con contaminación debido a vertimientos informales tipo enterramientos, botaderos a cielo abierto, de escorias minerales, explotaciones auríferas ilegales y rellenos sanitarios clausurados; en donde se reportan concentraciones hasta de 4.500 ppm de Hg (49), tales como:

- El bajo Cauca y Norte de Antioquia (Remedios, Segovia, Bagre, Zaragoza, Cáceres, Caucasia)
- Sur de Bolívar (San Pablo, San Martín de Loba)
- Sur de Córdoba (Monte Líbano, Ayapel)
- En menor proporción en las zonas de Vetas y California en Santander, el Tambo y Suarez en el departamento del Cauca, en la zona del Occidente de Nariño (Distrito la Llanada, Guachavez, Sotomayor, Samaniego, Barbacoas), en Ginebra y Zaragoza en el Valle del Cauca.

Existe la posibilidad de la presencia de altas concentraciones de Hg en peces de los embalses del país (50) y en zonas de inundación y sedimentación como la Depresión Momposina, la Mojana, las desembocaduras de ríos Patía, San Juan y Atrato, el sector de Mamonal en Cartagena por una planta de cloro-álcali, en el corregimiento de Samaria del municipio de Filadelfia (Caldas) una mina clausurada de Hg (51) y en La Calera (Cundinamarca) en una planta de cemento clausurada.

## 1.6 Contexto internacional

Los efectos adversos del Hg en la salud humana fueron evidentes al mundo en el mayor incidente de envenenamiento masivo por MeHg, reportado en 1956 en la ciudad de Minamata (Japón), donde MeHg producto de actividades industriales, fue descargado directamente al medio acuático y subsecuentemente biomagnificado hasta llegar a la población local mediante el consumo de pescado; en este incidente se reportaron 167 personas intoxicadas de las cuales 46 fallecieron (52). En relación a éste caso, para finales de la década de los años sesenta se habían reportado 111 muertes más y 400 casos de problemas neurológicos graves; y para 2001 se habían diagnosticado en Japón 2.955 casos, de los cuales 2.265 provenían de Minamata (53). Con base en dicho incidente se estimó que el pescado consumido tenía una concentración media de Hg de 10 mg/kg peso fresco (52). Otros reportes relevantes sobre la presencia de Hg en muestras biológicas se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Estudios representativos sobre presencia de Hg en muestras de cabello y sangre

PAÍS	CARACTERÍSTICAS	AÑO	REF.
Estados Unidos	Estudio con 17.000 mujeres (16-49 años de edad). Mostró que el 8% presentaban concentraciones de Hg en cabello y sangre que excedían los niveles correspondientes a la dosis de referencia.	2001	(54, 55)
Estados Unidos	El Departamento de Servicios de Salud y de la Familia de Wisconsin, en un estudio con 2.000 adultos para evaluarla exposición al MeHg, encontró que el consumo de pescado estimado osciló entre 0 y 60 porciones/mes (media 7,7).  Los niveles de Hg en cabello variaron entre 0,012 a 15,2 µg/g, siendo los hombres aquellos que presentaron mayores concentraciones. Los niveles de Hg superiores a 1µg/g aumentó con la edad en el 29% de los hombres y en el 13% de las mujeres. Entre los consumidores de pesca deportiva, 37% de los hombres y 18% de las mujeres tenían una concentración de Hg en el cabello por encima de 1µg/g. Estos hallazgos sugieren que la exposición de MeHg se ha generalizado y que los hombres pueden ser una población de alto riesgo no reconocido previamente.	Enero 2004 y junio 2005	(6)
Ártico	En adultos, las concentraciones más bajas de Hg en la sangre fue reportada en el sudoeste del Ártico, pero aumentan hacia el norte, donde el consumo de mamíferos marinos es mayor (56).	1990	(56)
Groenlandia	16% de la población adulta estudiada presentó concentraciones de Hg en la sangre que excedían los 200 µg/L, nivel considerado por la OMS como la concentración mínima en la sangre que es tóxica para adultos, excluyendo mujeres embarazadas (57). Más del 80% de la población del Norte de Groenlandia sobrepasaba los 50 µg/L de sangre, que corresponde casi a la dosis de referencia (BMD, Benchmark Dose por sus siglas en inglés) del informe del National Research Council (US NRC) (58). Se prevé que, tras una ingesta diaria promedio de unos 4 µg de MeHg/kg de peso corporal por día, el nivel en la sangre sea de aproximadamente 200 µg/L.	1986-2000	(57) (59) (58)
China	Se investigaron las concentraciones de Hg total y MeHg en el cabello de 243 hombres de tres zonas de Tokushima (Japón), así como de 64 hombres de Harbin (China) y 55 de Medan (Indonesia) con edades entre 40-49 años. Las concentraciones más altas se encontraron en habitantes de la costa, declarada sin contaminación antropogénica directa local, allí, las concentraciones de HgT variaron entre 1,7 y 24 µg/g (una media de 6,2 µg/g en 78 sujetos); valores, muy próximos y superiores al nivel de referencia para efectos adversos de 10 µg/g en cabello materno calculado a partir de los estudios de las Islas Faroe. La concentración media en las tres zonas investigadas en Japón fue ligeramente inferior: 4,6 µg/g de cabello (243 sujetos).	1998	(60)
Nueva Guinea	Se reportaron concentraciones de Hg en cabello observadas en residentes de tres aldeas de Papúa Nueva Guinea. Las mayores concentraciones se observaron en Dorogi, con medias de 4,1 y 4,4 µg/g de cabello en hombres y mujeres respectivamente. Las concentraciones más bajas se observaron en una aldea situada a 25 kilómetros de la costa.	1992	(61)
Brasil	En la cuenca del Río Tapajós (Brasil) se evidenció déficit cognitivo en niños de 7 años expuestos durante el embarazo, cuyas madres presentaban niveles de Hg inferiores a 10 µg/g del cabello.	1999	(62)
Brasil	Se realizaron mediciones separadas de MeHg y Hg total para distinguir entre exposiciones debidas a una dieta de alimentos acuícolas y exposiciones directas al Hg en actividades de extracción de oro. En el 3,2% de los 559 habitantes estudiados, se observaron concentraciones de MeHg que superaban el nivel de efectos adversos en adultos fijado en 50 µg/g de cabello, con un nivel individual máximo de 132 µg/g. Esos valores son superiores a la dosis de referencia de efectos adversos calculada en 10 µg/g de cabello materno a partir de los estudios de las Islas Faroe.	2000	(63)
Brasil	Se determinaron concentraciones de Hg total en el cabello en 13 de las 17 tribus indígenas que habitan el Parque Xingu en la parte brasileña de la cuenca del Amazonas. En seis de los grupos investigados, se midieron las concentraciones de MeHg en el cabello. Las medias geométricas de las concentraciones de Hg total variaron de una tribu a otra entre 3,2 y 21 µg/g de cabello, pero las medias de la mayoría de los grupos se encontraban entre 10 y 20 µg/g. En las tribus donde se midió también MeHg, este compuesto comprendió casi todo el Hg encontrado en las muestras de cabello.	1998	(64)
Guyana	Más de la mitad de la población amerindia tenía concentraciones de Hg en cabello que sobrepasaban el nivel recomendado por la OMS de 10 µg de Hg total/g, con un promedio de 11,4 µg/g (los niveles de Hg de la población de Guayana son de aproximadamente 3 µg/g y 1,7 µg/g en personas de zonas urbanas).	1999	(65)

Fuente: grupo de redacción ERIA

## 1.7 Contexto nacional

No se encontraron casos reportados de intoxicación con Hg por la ingesta de pescado en Colombia (66). Sin embargo a continuación se describen diferentes estudios que han evidenciado la presencia de este agente, en muestras biológicas y su relación con el consumo de pescado. Olivero y colaboradores en 2011 (67) evaluaron HgT en 1.328 muestras de cabello de habitantes del departamento de Bolívar, encontrando que las concentraciones variaron desde 0,01 hasta 20,14  $\mu\text{g/g}$ . Se detectaron los niveles más altos en las localidades de La Raya ( $5,27 \pm 0,32 \mu\text{g/g}$ ), Achí ( $2,44 \pm 0,22 \mu\text{g/g}$ ) y Montecristo ( $2,20 \pm 0,20 \mu\text{g/g}$ ).

Sólo el 0,75% de los individuos tenían niveles de HgT por encima de 10  $\mu\text{g/g}$ ; siendo los hombres aquellos con concentraciones significativamente más altas que las mujeres. En dicho estudio se evaluaron los niveles de Hg en el cabello de las personas que viven a distancias diferentes de las áreas de minería de oro en Bolívar. El estudio mostró que la concentración media de HgT en cabello fue de  $1,56 \pm 0,06 \mu\text{g/g}$ , donde el 52,01% de la población estudiada superó el límite de 1  $\mu\text{g/g}$  HgT recomendado por la US EPA. Sin embargo, pocos casos tuvieron niveles de HgT superiores a 10  $\mu\text{g/g}$  siendo el más alto 20,14  $\mu\text{g/g}$ . No fueron encontradas diferencias significativas de concentraciones de HgT en el cabello, entre grupos con diferente frecuencia de consumo de pescado; se debe tener en cuenta que la mayoría de las especies de peces para el consumo humano en el área de estudio corresponde a Bocachico (*Prochilodus magdalenae*), especie no carnívora.

Otro estudio reportado por García et al. (68), evaluó las concentraciones de HgT en cabello de habitantes del municipio de Ayapel (Córdoba) y en peces capturados en la zona. Fueron tomadas 112 muestras de cabello a pobladores ribereños, mayores de 14 años y, muestras de tejido muscular a siete especies de peces. Los resultados de HgT en cabello presentaron una media de  $2,18 \pm 1,77 \mu\text{g/g}$  con valores entre 0,11 y 12,76  $\mu\text{g/g}$ . El valor más alto en peces lo presentó la especie carnívora Blanquillo ó Bagre blanco (*Sorubin cuspidus*), con concentración media de  $0,74 \pm 0,19 \mu\text{g/g}$  de peso fresco, y la menor, la especie iliófaga Bocachico (*Prochilodus magdalenae*), con  $0,15 \pm 0,02 \mu\text{g/g}$  en peso fresco. Igualmente, se mostró que la población estudiada de Ayapel presentó concentraciones de Hg superiores a las permitidas

internacionalmente por la US EPA y síntomas acordes con tales niveles, lo que presumiblemente es debido al alto consumo de pescado contaminado con Hg. En este sentido, los resultados de la concentración de HgT en las especies ícticas, de mayor a menor, fueron: Blanquillo (*Sorubin cuspidus*), Pacora (*Plasgioscion surinamensis*), Bagre pintado (*Pseudoplatystoma fasciatum*), Moncholo (*Hoplias malabaricus*), Mojarra amarilla (*Petenia kraussi*), Liseta (*Leporinus muyscoruma*) y Bocachico (*Prochilodus magdalenae*).

Del total de 45 especies ícticas, 19 (42,2%) superaron la concentración máxima permisible de 0,5  $\mu\text{g/g}$  establecida por la Comisión del Codex Alimentarius, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS), todas ellas son especies carnívoras. Sin embargo, para proteger a la población vulnerable (menores de 15 años, mujeres embarazadas y consumidores frecuentes), la misma organización ha establecido un límite de 0,2  $\mu\text{g/g}$ , por lo que el número de especímenes sobre este nuevo límite aumentó a 36 (80%), incluidos especímenes de especies no carnívoras. No obstante, ha sido reportado que el consumo frecuente de pescado con niveles de HgT por debajo de este límite (0,2 mg/kg) está asociado a riesgo cardíaco en adultos y retraso motriz en niños (69).

La alta ingesta de pescado como fuente de proteína por parte de los habitantes de la zona, constituye un alto riesgo de intoxicación mercurial por la posición en el último eslabón de la cadena trófica. La correlación lineal altamente significativa entre la concentración de HgT y la longitud estándar de las especies ícticas evidencia su bioacumulación, en la cual los de mayor tamaño o más edad presentan mayores concentraciones del contaminante debido a un tiempo más largo de exposición, en comparación con los más jóvenes o de menor longitud. En la Tabla 7, se presentan otros hallazgos de la acumulación de Hg en muestras biológicas (cabello) en la población colombiana.

Tabla 7. Hallazgos de Hg en matrices biológicas (cabello) de población colombiana.

LUGAR	CONCENTRACIÓN HgT $\mu\text{g/g}$	POBLACIÓN	REF.
Ciénaga de Ayapel (Córdoba)	2.18 $\pm$ 1,77	95 mujeres y 17 hombres mayores de 14 años.	(68)
Coveñas (Sucre)	1.33 $\pm$ 0,1	37 mujeres y 23 hombres, edad 30,5 $\pm$ 2,0	(70)
Bocachica ( Bolívar)	1.64 $\pm$ 0,14	83 mujeres y 54 hombres, edad 44.9 $\pm$ 1,8	(70)
Cabo del Oro (Bolívar)	1.72 $\pm$ 0,14	52 mujeres y 11 hombres, edad 39.6 $\pm$ 2.8	(70)
Lomarena (Bolívar)	1.83 $\pm$ 0,45	47 mujeres y 28 hombres, edad 35,3 $\pm$ 1,8	(70)
Tasajera (Bolívar)	0.92 $\pm$ 0,07	49 mujeres y 11 hombres, edad 35,1 $\pm$ 1,9	(70)
Caimito (Sucre)	4,91 $\pm$ 0,55	94 personas, edad 15-95	(45)

Fuente: grupo de redacción ERIA

Para el caso de Ciénaga de Ayapel, la sintomatología presentada fue cefalea, falta de energía, irritabilidad o nerviosismo, preocupación excesiva, tristeza o alegría sin motivo, lagrimeo, sudoración fácil, vértigo y opresión en el pecho.

### 1.7.1 Métodos de detección para determinación de HgT y MeHg

En la Tabla 8 se presenta un resumen de las técnicas analíticas que se usaron para la determinación de Hg total (HgT) y de MeHg en matrices biológicas y peces, en los estudios mencionados anteriormente

Tabla 8. Métodos de detección para determinación de HgT y MeHg en peces y seres humanos

DETERMINACIÓN	TRATAMIENTO	LDM	REF.
Hg Total (HgT) en Peces y Cabello	Por espectroscopía de absorción atómica por vapor frío (CV-AAS) después de digestión ácida de muestra con 2:1 v/v H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /HNO <sub>3</sub> a 100-110°C durante 3 h.	10 ng/g	(71, 72)
HgT en Peces	Por espectroscopía de absorción atómica por vapor frío (CV-AAS) después de digestión ácida de muestra asistida por microondas con 15 mL de HNO <sub>3</sub> 65%. Tiempo 20 min, temperatura 180°C y presión de 30 bar.	12 ng/g	(73)
HgT y MeHg en Peces	Se realiza por espectroscopía de absorción atómica por vapor frío (CV-AAS) después de digestión básica de muestra con NaCl 1%, NaOH 45%, cisteína 1% a 100°C por 2 h.	7ng/g	(74)
HgT en Cabello	Por combustión catalítica de la muestra, pre concentración con oro, liberación del Hg por desorción térmica y lectura con espectrometría de absorción atómica lectura (AAS)	2,7 ng/g	(75, 76)
HgT en peces	El análisis de HgT se realiza por espectroscopía de absorción atómica por flama (FAAS) después de digestión de muestra con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 18N, HNO <sub>3</sub> 7N, Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> 2%, a 100 ° C durante 1 h.	0,1 mg/kg	(77)
MeHg en cabello	La muestra de cabello se digiere con solución alcalina/tolueno en un baño ultrasónico a aproximadamente 50°C. Después de enfriamiento y tratamiento con ácido clorhídrico 6M y una solución saturada de sulfato de cobre, la fase orgánica se extrae con una solución de cisteína. El MeHg se extrae de nuevo en tolueno mediante la adición de sulfato de cobre y bromuro de potasio y se analiza por GC-ECD utilizando una columna capilar DB17.	50 ng/g	(78)
HgT y MeHg en peces	Los compuestos de Hg se extraen mediante la adición de 50 ml de L-cisteína 1% w/v/HCl/H <sub>2</sub> O, calentando durante 120 min a 60°C en viales de vidrio. 50 $\mu$ l de extracto se filtran y se separan los compuestos de Hg por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) utilizando una columna C-18 y acuosa 0,1% w/v L-cisteína /HCl/H <sub>2</sub> O + 0,1% w/v. Se determina por plasma acoplado inductivamente-espectrometría de masas en relación de masa-carga 202 (ICP-MS). El HgT es calcula como la suma matemática de metilo y Hg inorgánico determinado en los extractos.	0,007 mg / kg MeHg y 0,005 mg/ kg Hg Inorgánico	(79)
HgT y MeHg en cabello	Las muestras se digieren con NaOH 10%, se extrae el MeHg con tolueno. Se adiciona cisteína para atrapar el MeHg durante un tiempo de 6h en un reactor y se determina el MeHg a través de 279.2 keV de 203Hg.	20 ng Hg	(80)
HgT y MeHg en cabello	El análisis de HgT se realiza mediante voltametría de redisolución anódica de pulso diferencial (DPASV). La muestra se extrae con HCl 5M se zonifica durante 10 minutos, se centrifuga a 5.000 rpm durante 5 min y se toma el sobrenadante para el análisis.	2,3 $\times$ 10 <sup>-9</sup> mol/L	(81) (82)
MeHg en peces	La muestra es tratada con HCl, NaBr, y tolueno. La mezcla es agitada y centrifugada. Una solución de cisteína es adicionada, después es mezclada y centrifugada, la capa orgánica es descartada. La fase acuosa es adicionada con HCl, NaBr y tolueno, mezclada y centrifugada. Una alícuota de la fase orgánica es analizada por cromatografía de gases con detección de microcaptura de electrones su análisis.	38 ng/g	(83, 84)

Fuente: grupo de redacción ERIA

LDM: Límite de detección del método

# 2

## Caracterización del peligro

### 2.1 Cinética y metabolismo

El MeHg se absorbe rápidamente en el tracto gastrointestinal donde aproximadamente el 95% ingerido es absorbido. La concentración máxima en plasma se alcanza en las primeras 6 horas después de ingerido; atraviesa fácilmente membranas biológicas como la barrera hematoencefálica y la placenta (85, 86) y la capacidad del MeHg para unirse a los grupos sulfhidrilos de las proteínas, resulta en una larga vida media en varios organismos. En el hombre, la vida media del MeHg ha sido estimada por Smith y Farris (87) entre 51-56 días, mucho mayor que la vida media de las formas inorgánicas de Hg (3-4 días) (45), si no hay una ingesta posterior de las formas del contaminante. En los peces, el MeHg entra en el organismo ya sea directamente desde el agua o por estar concentrado en la cadena alimentaria; tiene una vida media de aproximadamente dos años y ésta es mayor en peces longevos, especialmente las especies depredadoras, las cuales contienen los más altos niveles de MeHg (85, 86).

### 2.2 Bioacumulación y biomagnificación

El nivel trófico es un factor importante que influye en los niveles de contaminantes en organismos acuáticos. El Hg existe en el ambiente tanto de forma natural como por actividades humanas, ocasionando su acumulación y toxicidad en la biota, afectando el equilibrio de los ecosistemas y la salud del hombre (88-93). Se ha identificado que los embalses son la formación geográfica de mayor potencial para que ocurran los procesos de bioacumulación y biomagnificación de Hg. En éstos, la principal fuente de contaminación son el suelo y la biomasa vegetal inundada, los cuales contienen Hg asociado a la materia orgánica (94). La escorrentía de las

cuencas y deposiciones atmosféricas representan aportes importantes que pueden ser potenciados por fuentes locales o regionales de contaminación (22). En este sentido, los elevados niveles de Hg en peces de embalses durante el llenado, son el resultado de procesos biogeoquímicos que favorecen la movilización, biometilación y la consecuente biodisponibilidad del Hg adherido a la materia orgánica del suelo y las plantas (94, 95).

En los peces, la bioacumulación de Hg está influenciada por factores fisiológicos como la edad, talla, género, tasa de crecimiento y metabólica (96) y factores ecológicos como las fuentes de carbono, la posición trófica, la complejidad y longitud de las redes tróficas (17, 97, 98). La mayoría de los estudios realizados sobre los procesos de bioacumulación del Hg en peces, se han basado en la determinación de las concentraciones en tejido muscular (peso corporal >60%), facilidad en su muestreo y es el tejido de mayor consumo (99, 100). Los niveles tróficos inferiores juegan un papel importante en la bioacumulación en peces, por ejemplo, en sistemas pelágicos la bioconcentración más grande ocurre entre el agua y el fitoplancton (101, 102). La entrada de Hg y MeHg a las redes tróficas vía fitoplancton se incrementa más que en el agua y los peces obtienen más Hg desde sus presas (102-104). Experimentalmente se ha demostrado que la eficiencia en la transferencia entre las diatomeas marinas y los copépodos es cuatro veces mayor para MeHg que para Hg<sup>2+</sup> (18).

Las concentraciones más altas de MeHg se encuentran en peces depredadores de gran tamaño, como el tiburón, la caballa gigante (*carite lucio*), el pez espada y algunas especies de atún grande y mamíferos marinos; así como algunos peces de agua dulce como la trucha, el lucio, la lucioperca americana, la lobina y la perca, el bagre, el blanquillo, la doncella, la mojarra amarilla, el rubio, entre otros (47, 68, 105). En sistemas de producción acuícola, especies como la tilapia al ser filtradoras (capacidad de retener en sus branquiespinas organismos suspendidos en el agua) se convierten en biomagnificadores y/o bioacumuladores del MeHg en aguas. Lo anterior, puede suceder en sistemas de producción intensiva o semi-intensiva (estanques, jaulas, entre otros) o cuando se localizan en represas, embalses o lagos que favorecen la disponibilidad del MeHg a la cadena trófica (fitoplancton y zooplancton). Esta cadena se integra a los peces filtradores (tilapias, cachama, entre otros.) de hábitos alimenticios lénticos (por ejemplo El bocachico) o carnívoros (el tucunaré, la mojarra criolla, el bagre, el yamu o la dorada).

## 2.3 Efectos adversos en humanos

La exposición a Hg es de particular interés en poblaciones con alto consumo de pescado contaminado y en personas expuestas laboralmente (106). El consumo de pescado y mamíferos marinos contaminados es la causa más importante de exposición de los seres humanos al MeHg (107).

### 2.3.1 Neurotoxicidad

El MeHg es un agente neurotóxico, que puede provocar efectos adversos particularmente en el cerebro en formación. Además, este compuesto traspasa con facilidad la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica, por eso es muy preocupante la exposición durante el embarazo. Así mismo, algunos estudios indican que incluso un pequeño aumento en la exposición a MeHg puede causar efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular y un incremento en la tasa de mortalidad (107). El Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) (108) considera que los compuestos de MeHg pueden ser carcinógenos para los seres humanos (Grupo 2B) (8).

Los casos de neurotoxicidad y algunos de mortalidad en humanos, han sido reportados desde finales del Siglo XIX, éstos se debieron a la exposición de laboratorio, exposición industrial en la elaboración de tratamientos anti hongos de semillas, e incidentes aislados de consumo de granos tratados con MeHg destinados a plantación. Solo fue hasta la segunda mitad del Siglo XX tras el incidente de Minamata (Japón) que se apreció que el MeHg también puede presentar riesgos para la población en general. Desde entonces una serie de alteraciones neurológicas, malformaciones y alteraciones teratogénicas ocasionadas por el Hg, se conocen como la Enfermedad de Minamata. En adultos, los efectos iniciales son síntomas no específicos, tales como parestesia, malestar y visión borrosa; con mayor exposición, aparecen signos como constricción concéntrica del campo visual, sordera, disartria, ataxia y, por último, coma y muerte (109).

El sistema nervioso central en desarrollo es más sensible al MeHg que el del adulto. En niños de corta edad, que durante la gestación estuvieron expuestos a niveles elevados de esta sustancia, presentan un cuadro clínico similar al de la parálisis cerebral causada por otros factores; caracterizado principalmente

por microcefalia, hiperreflexia, discapacidad mental y trastornos de la función motora gruesa, con alguna asociación a ceguera o sordera (109, 110). En los casos leves, los efectos pueden aparecer más tarde en el desarrollo en forma de discapacidad psicomotora, mental y reflejos patológicos persistentes (58, 111).

En Finlandia, fue estudiada la relación de la ingesta de pescado, así como la concentración de mercurio en cabello y en orina y su relación con el riesgo de infarto agudo de miocardio (IAM), enfermedad cardiovascular (ECV) y muerte por enfermedad coronaria, concluyéndose que la ingesta de pescado tiene una relación con el aumento de la incidencia de enfermedades cardiovasculares (112, 113).

### 2.3.2 Genotoxicidad

Diversos trabajos de investigación hechos con animales prueban su genotoxicidad y efectos en el sistema inmune y el aparato reproductor (114). Las dosis necesarias para producir efectos tóxicos varían considerablemente entre especies; se ha observado, que una dosis de 1mg/kg peso corporal/día en roedores produce efectos mínimos, mientras que este valor, está en el rango de consumo que ha sido asociado a neurotoxicidad en humanos (115, 116, 117).

Los compuestos del mercurio entran a la célula por la membrana plasmática o por medio de proteínas transportadoras y pueden provocar efectos genotóxicos por cuatro mecanismos: 1. Producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) que reaccionan directamente con el ADN o indirectamente, induce cambios conformacionales en proteínas responsables de la formación y mantenimiento del ADN, 2. Enlace directo con moléculas de ADN formando aductos con especies de mercurio, 3. Enlace directo con las enzimas reparadoras del ADN afectando su actividad y 4. Enlace directo con micro túbulos, evitando la formación del huso mitótico y la segregación cromosómica (63).

### 2.3.3 Otros efectos

En la Tabla 9, se muestran algunos efectos adversos en fluidos y tejidos biológicos reportados por algunos autores, correspondientes a la ingesta de alimentos de origen hidrobiológico contaminados con Hg y otros compuestos orgánicos derivados.

Tabla 9. Reportes de efectos adversos en humanos-estudio en fluidos y tejidos biológicos

SISTEMA U ÓRGANO	EFFECTO	AGENTE CONTAMINANTE	MATRIZ	REF.
Sistema inmune	Teratogénesis y carcinogénesis	Hg y MeHg	Estudios in vitro, in vivo y extracción de ADN de humanos	(63)
	Genotoxicidad (células linfocitarias)	Nitrato mercúrico, Cloruro de MeHg y Acetato de fenilHg	Linfocitos humanos	(118)
	Inmunotoxicidad	Hg	Ratones y suero humano	(119)
Sistema renal	Acumulación	Hg y MeHg	Hígado, riñón y bazo de adultos groenlandeses étnicos	(120)
Páncreas	Resistencia a insulina/diabetes 2	Hg	Muestras de sangre humana	(121)
Cardio-toxicidad	Aumento de susceptibilidad a enfermedad cardiovascular	Hg	Plasma humano	(122)
	Aumento de riesgo	Hg y MeHg	Cabello humano	(123)
		Hg	Estudios in vivo	(124)
Glándula tiroides	Acumulación y autoinmunidad	Hg	Sangre de mujeres	(125)
	Alteraciones en niveles hormonales	MeHg	Sangre materna, del cordón umbilical y de niños de 6 meses de edad	(126)
	Sistema reproductivo	Anormalidades en morfología y motilidad del espermatozoides	Hg	Líquido seminal y sangre entera
Dimorfismo sexual		MeHg	Cabello o sangre	(128)
Pérdidas del campo visual		MeHg	Evaluación del campo visual y análisis de orina	(129)
Sistema nervioso	Daño de células receptoras de la visión	Ion Mercúrico	Cultivos de tejidos celulares	(130)
	Genotoxicidad (neuroblastomas y glioblastomas)	MeHg	Celulares lineales (glioblastoma y neuroblastoma) del sistema nervioso central	(131)
	Daño oxidativo	MeHg	Estudios in vivo	(132)
	Alteraciones neuropsicológicas	Hg y MeHg	Pruebas neuropsicológicas y análisis de orina	(133)
	Neurotoxicidad y apoptosis	MeHg	Estudios in vivo e in vitro	(134)
	Neurotoxicidad (Excitotoxicidad y estrés oxidativo)	MeHg	Estudios in vivo e in vitro	(135)
	Neurotoxicidad (autismo) y alteración en síntesis del hemo	Hg	Orina y estudios in vivo e in vitro	(136); (137)
		Hígado	Citotoxicidad y Genotoxicidad	Hg <sup>2+</sup> y MeHg

Fuente: grupo de redacción ERIA

## 2.4 Ingesta admisible

La evaluación del riesgo potencial para la salud humana por exposición a Hg, se realiza mediante la estimación del nivel de ingesta semanal de MeHg (ISMeHg) y el índice de peligrosidad (HI), el cual relaciona la cantidad de pescado consumido por las personas y las concentraciones del metal en la carne de pescado (139). De acuerdo a lo anterior, se considera que la ingesta del MeHg contenido en el pescado y otros alimentos de origen acuático, presenta el efecto de mayor riesgo para los seres humanos. Basándose en evaluaciones de riesgos y otras consideraciones de carácter social, varios países y organizaciones internacionales han establecido herramientas de análisis, tales como la ingesta diaria o semanal de MeHg o Hg que se considera segura (dosis de referencia e ingesta semanal tolerable provisional), límites y directrices para las concentraciones máximas en el pescado y recomendaciones sobre su consumo.

En la reunión 61ª del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), se estableció, con base en los estudios de poblaciones expuestas a MeHg por el consumo de pescado en las Islas Faroes y Seychelles, una ingesta semanal de 1,6 µg MeHg/kg de peso corporal como nivel de exposición que no genera efectos adversos apreciables en los hijos de mujeres expuestas durante el embarazo. Este nivel de ingesta semanal incluye un factor de incertidumbre de 6,4 (léase:  $1,6 * 6,4\% = 1,6 \pm 0,1024$ ) y fue considerado suficiente para la protección de los fetos en desarrollo, los cuales son el subgrupo poblacional más vulnerable a los daños neurotóxicos causados por el MeHg (139).

En el mismo sentido, en la reunión 67ª del JECFA, donde se revisaron los niveles de MeHg relacionados con efectos adversos apreciables en diferentes subgrupos poblacionales, se concluyó que los datos analizados no suministran evidencias suficientes para establecer niveles de ingesta seguros en niños de edades entre lactantes y 17 años; sin embargo, se puntualizó que éstos son más sensibles que los adultos debido a que su sistema nervioso continúa en desarrollo. Respecto a los adultos en general, se acepta que niveles hasta dos veces superiores a la ISMeHg estimada para la protección de los fetos (1,6 µg/kg peso corporal) no representan ningún riesgo para la salud, haciendo claridad que las mujeres en embarazo no deben exceder este nivel de referencia para la protección de los fetos (105).

En cuanto al Hg, cuando los valores exceden la unidad, significa que el nivel de exposición es superior a la dosis de referencia y por tanto el riesgo de neurotoxicidad por MeHg se incrementa (140). Actualmente JECFA establece una ingesta semanal provisional tolerable (PTWI) para MeHg de 1,6 µg/kg por peso corporal/semana para la población en general, incluyendo niños, niñas y mujeres en embarazo (141). En la Tabla 10 se presentan los niveles máximos permitidos o recomendados de Hg en pescado en varios países u organizaciones. También son mostrados niveles tolerables de ingesta de Hg o MeHg.

Tabla 10. Niveles máximos permitidos o recomendados de Hg en el pescado e ingestas tolerables

PAÍS/ ORGANIZACIÓN	TIPOS DE PECES	CONCENTRACIÓN MÁX. PERMITIDA RECOMENDADA(A)	PARÁMETRO DE REFERENCIA (A)	NORMA/ DIRECTRIZ
Australia	Pez espada, atún de aleta azul del sur, barramundi, maruca y pez reloj anaranjado, raya, tiburón.	1,0 mg de Hg/kg	PTWI: 2,8 µg Hg/kg de peso corporal por semana, para las mujeres embarazadas.	Código de Normas Alimentarias de Australia
	Todas las demás especies de peces, así como crustáceos y moluscos	0,5 mg de Hg/kg		
Canadá	Todos los peces, excepto tiburón, pez espada o atún fresco o congelado (expresado como Hg total en la parte comestible del pescado)	0,5 ppm de Hg total	PTDI: 0,47 µg Hg/kg de peso corporal por día, para la mayor parte de la población. 0,2 µg Hg/kg de peso corporal por día, para mujeres en edad fértil y niños pequeños.	Directrices/ tolerancias de diversos contaminantes químicos en Canadá
	Límite máximo permisible para los que consumen grandes cantidades de pescado, como las poblaciones aborígenes	0,2 ppm de Hg total		
China	Peces de agua dulce	0,30 mg/kg de Hg total	ND	Normas sanitarias para alimentos
	Pescado fresco	1,0 mg de Hg/kg		
Croacia	Peces depredadores (atún pez espada) moluscos, crustáceos	0,8 mg de MeHg/kg	ND	Reglas sobre la cantidad de plaguicidas, Toxinas, micotoxinas, metales e histaminas y sustancias similares que se pueden encontrar en los alimentos
	Otras especies de peces	0,5 mg de Hg/kg		
	Pescado enlatado	1,5 mg de Hg/kg		
	Peces depredadores (atún, pez espada)	1,0 mg de Hg/kg		
	Moluscos, crustáceos	0,8 mg de Hg/kg		
	Todas las demás especies de Peces	0,5 mg MeHg/kg		
Unión Europea	Productos pesqueros, con excepción de los enumerados más abajo.	0,5 mg de Hg/kg de peso húmedo	ND	Diversas decisiones, reglamentos y directivas
	Anguila, atún, bacoreta, bonito, escolar negro, espadilla, esturión, fletán, gallineta nórdica, lucio, marlín, pailona, perro del norte, pez espada, pez vela, rape, raya, reloj anaranjado, tasarte y tiburón (todas las especies).	1 mg de Hg/kg de peso húmedo		
Corea	Pescado	0,5 mg de Hg/kg	ND	Ley alimentos 2000
Estados Unidos	Pez, moluscos y otros animales acuáticos (FDA). Los estados, tribus y territorios son responsables de emitir recomendaciones sobre el consumo de pescado capturado localmente. Nivel de activación para muchos departamentos estatales de salud	1 ppm de MeHg 0,5 ppm de MeHg	US EPA: 0,1 µg de MeHg/kg de peso corporal por día	Nivel de acción de la FDA Nivel de activación local
	Filipinas	Peces (excepto depredadores). Peces depredadores (tiburón, atún, pez espada)		
Georgia	Peces (agua dulce) y productos de la pesca.	0,3 mg de Hg/kg	ND	Normas de Georgia de calidad de los alimentos 2001
	Peces (Mar Negro) Caviar	0,5 mg de Hg/kg 0,2 mg de Hg/kg		
India	Pescado	0,5 ppm de Hg total	ND	Normas de tolerancia
Japón	Pescado	0,4 ppm de Hg total /kg 0,3 ppm de MeHg (como referencia)	PTWI: 0,17 mg de MeHg (0,4µg/kg de peso corporal por día) (142).	Ley de sanidad de los alimentos – Norma provisional para pescado y mariscos
Isla Mauricio	Pescado	1 ppm de Hg	ND	Ley de alimentos 2000
República Eslovaca	Peces de agua dulce no depredadores y sus productos.	0,1 mg de Hg total/kg	ND	Código de la República Eslovaca
	Peces de agua dulce depredadores.	0,5 mg de Hg total/kg		
	Peces marinos no depredadores y sus productos. Peces marinos depredadores.	0,5 mg de Hg total/kg 1,0 mg de Hg total/kg		
Reino Unido	Pescado	0,3 mg de Hg/kg (carne húmeda)	ND	Norma legal europea
Tailandia	Alimentos marinos	0,5 µg de Hg/g	ND	Norma para alimentos que contienen contaminantes
	Otros alimentos	0,02 µg de Hg/g		
JECFA (FAO / OMS)	Todos los peces, excepto Depredadores. Peces depredadores (tales como tiburón, pez espada, atún, lucio y otros)	0,5 mg de MeHg/kg 1 mg de MeHg/kg	PTWI: 1,6 µg de MeHg/kg de peso corporal/semana. 4 µg de Hg/kg de peso corporal/semana.	Nivel de directrices del Codex Alimentarius

Fuente: PNUMA(13)

(a): unidades tal como figuran en las referencias; "mg/kg" equivale a "µg/g" y ppm (partes por millón). Cuando no se indica "peso húmedo" o "carne húmeda" los valores límite para el pescado se basan en el peso húmedo. 2: la Comisión Europea (febrero de 2002) revisó los contenidos máximos de Hg en un pequeño número de especies de peces de consumo (Reglamento (CE) Nº 221/2002 de la Comisión de 6 de febrero de 2002).

PTDI: Ingesta Diaria Tolerable Provisional  
PTWI: Ingesta Semanal Tolerable Provisional  
ND: No Disponible

En la Tabla 11 se presentan los niveles de referencia establecidos para MeHg en algunos países y por agencias internacionales.

Tabla 11. Niveles de referencia establecidos para MeHg.

PAÍS/ORGANIZACIÓN	NIVEL DE REFERENCIA (µg MeHg/kg peso corporal/semana)	AÑO DE ADOPCIÓN
Canadá	1,4	1997
Japón	2,0	2005
Países bajos	0,7	2000
USA	0,7	2001
JECFA	1,6	2003

Fuente: UNEP, 2010 (143)

# 3

## Evaluación de la exposición

### 3.1 Contexto internacional de Mercurio en pescado

Un número de países y organizaciones internacionales han presentado datos sobre concentraciones de Hg en pescado y adicionalmente, la literatura informa de numerosas investigaciones sobre niveles de este metal. A continuación se presentan hallazgos de Hg en pescado en diversas partes del mundo: según von Rein y Hylander (2000), en Suecia la concentración de Hg en la especie de agua dulce denominada *Esox lucius* (lucio de 1 kg de peso) proveniente del 50% de los lagos suecos, varió entre 0,5 –1 mg de Hg/kg de peso húmedo superando el límite internacional fijado por la FAO/OMS (144), mientras que en Finlandia, otro estudio encontró datos semejantes pero en el 85% de los lagos del sur y centro de ese mismo país (145). Por su parte, en Estados Unidos la US EPA estimó que hasta un 5% de las mujeres en edad fértil (15-44 años de edad) consumían 100 g/día o más de pescado y mariscos, considerando que es posible que 7% de esta población esté expuesta a una concentración superior a la dosis diaria recomendada (DdR) por dicha agencia (8). En el Ártico, se prevé que una ingesta diaria de alrededor de 1 µg de MeHg/kg de peso corporal por día resulte en una concentración de Hg en la sangre de unos 50 µg/L y, en el cabello, de 10 µg/g (US EPA, 1997; US ATSDR, 1999).

En Japón, donde la dieta tiene un contenido relativamente alto de pescado y mariscos, el MeHg constituía una gran proporción del Hg total medido y había una gran correlación entre las concentraciones de MeHg y el Hg total, que indica que la dieta de alimentos marinos era un factor importante de la exposición al Hg (60) citan al Departamento de Asuntos Generales de Japón en relación con los estudios alimentarios de 1996, que estiman el consumo nacional promedio de pescado y mariscos en 107 g/día por persona, una tasa de consumo que ocupa el tercer lugar entre las más grandes de los 23 países estudiados (146).

Finalmente, en la Cuenca del Amazonas varios estudios han señalado exposiciones elevadas al MeHg y al Hg total en poblaciones que dependen de una alimentación a base de pescado en zonas de extracción de oro por Hg. En la Guayana Francesa, un estudio realizado por Fréry y colaboradores, (65) con la población wayana de la cuenca superior del Río Maroni, en la cual su principal fuente de alimentación es el pescado de río, se confirmó que hubo exposición al Hg debido al consumo de este alimento el cual está contaminado por las actividades de extracción de oro. De 242 muestras de pescado analizado, 14,5% tenía concentraciones de Hg superiores a 0,5 mg/kg (con un máximo de 1,62 mg/kg). De acuerdo con las pautas de consumo de pescado de los wayanas, se determinó que los adultos ingieren entre 40 y 60 µg de Hg total por día; los lactantes, aproximadamente 3 µg por día; los niños de entre 1 y 3 años de edad, 7 µg por día; entre 3 y 6 años de edad, aproximadamente 15 µg por día, y entre 10 y 15 años, entre 28 y 40 µg por día.

### 3.2 Contexto nacional presencia de Mercurio en pescado

En Colombia, la zona minera de oro más grande se encuentra en el norte de Antioquia y en el sur de Bolívar, donde ha sido estimado que entre 80 y 100 toneladas de Hg son liberadas en la atmósfera cada año. El manejo inadecuado de este metal ha dado lugar a la contaminación de ríos, ciénagas y otros compartimentos ambientales, que afectan a las poblaciones aledañas (147).

En estudio realizado por Marrugo-Negrete et al. (9) en el tejido muscular de 16 especies que se consumen en la región de la Mojana (Bolívar) (Tabla 12), se encontraron las mayores concentraciones de HgT y MeHg en las especies carnívoras (HgT = 0,371 µg/g peso fresco, MeHg = 0,346 µg/g de peso fresco), mientras que en los peces no carnívoros (HgT = 0,155 µg/g peso fresco, MeHg = 0,146 µg/g de peso fresco) los reportes fueron menores. El Hg de diferentes especies estuvo casi en su totalidad metilado (80,5% y 98,1%). En el 13,5% de las muestras de los tejidos de peces, el HgT superó el nivel máximo recomendado por la OMS; aunque la concentración media de HgT en todas las muestras (0,269 µg/g) no supera este límite, la estimación del riesgo sugiere que el consumo de 0,12 kg/día de pescado, podría aumentar el riesgo de intoxicación por Hg en los habitantes de esta región.

Tabla 12. Niveles de Hg total presente en especies piscícolas de la Mojana

CLASE	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	HgT (µg/g)
Carnívoro	Mojarra amarilla	<i>Caquetaia kraussi</i>	0,390 ± 0,203
	Doncella	<i>Ageneiosus caucanus</i>	0,512 ± 0,158
	Bagre pintado	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	0,413 ± 0,085
	Blanquillo	<i>Sorubin cuspidatus</i>	0,465 ± 0,091
	Moncholo	<i>Hoplias malabaricus</i>	0,278 ± 0,155
	Pacora	<i>Plagioscion surinamensis</i>	0,307 ± 0,126
	Rubio	<i>Salminus affinis</i>	0,279 ± 0,026
	Barbudo negro	<i>Rhamdia sebae</i>	0,395 ± 0,217
No carnívoro	Yalúa	<i>Cyrtochorax magdalenae</i>	0,183 ± 0,044
	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>	0,106 ± 0,057
	Arenca	<i>Tripottheus magdalenae</i>	0,341 ± 0,106
	Liseta	<i>Leporinus muyscoruma</i>	0,245 ± 0,129
	Cacucho	<i>Panaque gibbosus</i>	0,182 ± 0,036
	Gurami	<i>Trichogaster sp</i>	0,043 ± 0,004
	Viejito	<i>Curimata magdalenae</i>	0,092 ± 0,039
	Vizcaína	<i>Curimata mivartii</i>	0,186 ± 0,025

Fuente: Tomado de Marrugo-Negrete, 2008 (9)

En la Tabla 13, se muestran diferentes investigaciones en Colombia, sobre la acumulación de Hg en el músculo de pescado. Es importante resaltar que para las especies con datos de MeHg en músculo, los porcentajes respecto a HgT están entre el intervalo de 50-95%.

Tabla 13. Concentraciones de mercurio total (HgT) y metilmercurio (MeHg) en tejido muscular de pescados de Colombia

ESPECIE	MUNICIPIO	HgT (µg/g)		MeHg (µg/g)		% HgT como MeHg		REF.
		Promedio ± Desviación Estándar	Intervalo	Promedio ± Desviación Estándar	Intervalo	Promedio ± Desviación Estándar	Intervalo	
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> (Bagre rayado)	Río Nechí	NR	NR	0,433	NR	NR	NR	(148)
	Río La Miel	0,134	NR	NR	NR	NR	NR	
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Bagre tigre, rayado, pintado)	Ciénaga de Ayapel	0,510 ± 0,075	0,415 - 1,026	NR	NR	NR	NR	(68)
	Región Mojana	0,432 ± 0,107	0,225-0,603	NR	NR	NR	NR	(48)
	Ciénaga Ayapel	0,413 ± 0,085	0,279-0,521	0,375 ± 0,080	93,5 ± 3,5	87,3-98,1		(37)
<i>Sarubim cuspidatus</i> (Blanquillo)	Ciénaga Ayapel	0,423 ± 0,113	0,218-0,581	NR	NR	NR	NR	(47)
	Río Nechí	0,465	NR	NR	NR	NR	NR	(148)
	Río La Miel	0,934	NR	NR	NR	NR	NR	
	Región Mojana	0,091	NR	NR	NR	NR	NR	
<i>Sarubim lima</i> (Blanquillo)	Ciénaga Ayapel	0,092	NR	NR	NR	NR	NR	(68)
	Región Mojana	0,330 ± 0,070	0,268 - 0,435	NR	NR	NR	NR	(47)
	Vereda Caimito Región Mojana	0,465 ± 0,091	0,365-0,689	0,418 ± 0,113	92,9 ± 2,6	88,1-95,6		(37)
<i>Leporinus muyscorum</i> (Liseta)	Río Nechí	NR	0,20-0,51	NR	NR	NR	NR	(46)
	Río La Miel	0,130	NR	NR	NR	NR	NR	(148)
	Región Mojana	0,593	NR	NR	NR	NR	NR	
	Ciénaga Ayapel	0,065	NR	NR	NR	NR	NR	
<i>Caquetaia kraussii</i> (Mojarra amarilla)	Región Mojana	0,064	NR	NR	NR	NR	NR	(68)
	Ciénaga Ayapel	0,222 ± 0,030	0,188 - 0,245	NR	NR	NR	NR	(48)
	Región Mojana	0,263 ± 0,097	0,112-0,465	NR	NR	NR	NR	(47)
	Ciénaga Ayapel	0,261 ± 0,104	0,096 - 0,483	NR	NR	NR	NR	(37)
<i>Haplias malabaricus</i> (Moncholo)	Región Mojana	0,245 ± 0,129	0,148-0,245	0,234 ± 0,132	92,5 ± 1,3	90,3-94,7		(68)
	Ciénaga Ayapel	0,283 ± 0,01	0,233 - 0,347	NR	NR	NR	NR	(48)
	Región Mojana	0,403 ± 0,113	0,231-0,586	NR	NR	NR	NR	(47)
	Vereda Caimito Región Mojana	0,401 ± 0,109	0,250 - 0,575	NR	NR	NR	NR	(37)
<i>Plagioscion surinamensis</i> (Pacora, curvinata)	Ciénaga grande, Región Mojana	0,390 ± 0,203	0,101-0,816	0,335 ± 0,194	94,6 ± 1,7	92,1-97,8		(46)
	Ciénaga Ayapel	1,09 ± 0,17	NR	NR	NR	NR	NR	(37)
	Región Mojana	0,457 ± 0,125	0,368 - 0,545	NR	NR	NR	NR	(68)
	Ciénaga Ayapel	0,328 ± 0,113	0,136-0,545	NR	NR	NR	NR	(48)
<i>Ageneiosus caucanus</i> (Doncella)	Región Mojana	0,315 ± 0,110	0,123-0,583	NR	NR	NR	NR	(47)
	Vereda Caimito Región Mojana	0,278 ± 0,155	0,107-0,669	0,274 ± 0,162	93,8 ± 1,9	89,1-96,1		(9)
	Ciénaga grande, Región Mojana	NR	0,21-0,43	NR	NR	NR	NR	(46)
	Ciénaga Ayapel	0,58 ± 0,05	NR	NR	NR	NR	NR	(37)
<i>Salminus affinis</i> (Rubio picuda)	Ciénaga Ayapel	0,684 ± 0,199	0,507 - 1,071	NR	NR	NR	NR	(68)
	Región de la Mojana	0,317 ± 0,171	0,110-0,951	NR	NR	NR	NR	(48)
	Vereda Caimito Región Mojana	0,277 ± 0,132	0,119 - 0,650	NR	NR	NR	NR	(47)
	Ciénaga grande, Región Mojana	0,307 ± 0,126	0,121-0,612	0,292 ± 0,138	95,6 ± 1,4	93,9-97,9		(9)
<i>Rhamdia sebae</i> (Barbudo negro)	Región Mojana	NR	0,14-0,44	NR	NR	NR	NR	(46)
	Ciénaga grande, Región Mojana	0,53 ± 0,07	NR	NR	NR	NR	NR	(37)
	Ciénaga Ayapel	0,504 ± 0,103	0,267 - 0,602	NR	NR	NR	NR	(47)
<i>Cyrtocara magdalenae</i> (Yalúa)	Región Mojana	0,512 ± 0,158	0,267-0,996	0,497 ± 0,178	95,2 ± 1,6	92,5-97,1		(9)
	Vereda Caimito región Mojana	NR	0,23-0,54	NR	NR	NR	NR	(46)
<i>Rhamdia sebae</i> (Barbudo negro)	Región Mojana	0,279 ± 0,026	0,237-0,301	0,250 ± 0,027	92,3 ± 0,9	91,4-93,2		(9)
	Región Mojana	0,395 ± 0,217	0,158-0,585	0,331 ± 0,254	90,2 ± 1,5	88,5-91,2		(9)
<i>Cyrtocara magdalenae</i> (Yalúa)	Región Mojana	0,183 ± 0,044	0,143-0,279	0,167 ± 0,053	88,2 ± 1,2	84,0-91,9		

Continúa en la siguiente página

Continuación de la página anterior

ESPECIE	MUNICIPIO	HgT (µg/g)		MeHg (µg/g)		% HgT como MeHg		REF.
		Promedio ± Desviación Estándar	Intervalo	Promedio ± Desviación Estándar	Promedio ± Desviación Estándar	Intervalo		
<i>Pimelodus sp.</i> (Comelón)	Río Nechí	0,080	NR	NR	NR	NR	NR	(148)
	Río La Miel	0,111	NR	NR	NR	NR	NR	
<i>Prochilodus magdalenae</i> (Bocachico)	Río Nechí	0,025	NR	NR	NR	NR	NR	(148)
	Río La Miel	0,078	NR	NR	NR	NR	NR	
	Región Mojana	0,114	NR	NR	NR	NR	NR	(68)
	Vereda Caimito Región Mojana	0,127	NR	NR	NR	NR	NR	
<i>Triporthues</i>	Región Mojana	0,008	NR	NR	NR	NR	NR	(148)
	Ciénaga Ayapel	0,151 ± 0,023	0,108 - 0,190	NR	NR	NR	NR	
	Región Mojana	0,143 ± 0,053	0,054-0,241	NR	NR	NR	NR	(48)
	Ciénaga grande, Región Mojana	0,130 ± 0,056	0,035 - 0,234	NR	NR	NR	NR	(47)
<i>Magdalenae</i> (Arenca)	Región Mojana	0,106 ± 0,057	0,181-0,436	0,095 ± 0,049	90,3 ± 2,7	85,7-94,2		(9)
	Región Mojana	0,106 ± 0,057	0,181-0,436	0,095 ± 0,049	90,3 ± 2,7	85,7-94,2		(9)
	Región Mojana	0,157 ± 0,01	NR	NR	NR	NR	NR	(9)
	Región Mojana	0,062	NR	NR	NR	NR	NR	(9)
<i>Panaque gibbosus</i> (Cacucho)	Río Nechí	0,028	NR	NR	NR	NR	NR	(148)
	Río La Miel	0,027	NR	NR	NR	NR	NR	
<i>Curimata magdalenae</i> (Viejito)	Región Mojana	0,085	NR	NR	NR	NR	NR	(148)
	Región Mojana	0,341 ± 0,106	0,072-0,586	0,314 ± 0,106	93,5 ± 1,2	89,0-91,7		
	Región Mojana	0,182 ± 0,036	0,036-0,049	0,175 ± 0,038	90,5 ± 1,2	89,7-92,2		(37)
	Región Mojana	0,043 ± 0,004	0,041-0,240	0,038 ± 0,005	88,1 ± 3,3	83,9-91,8		
<i>Curimata mivartii</i> (Vizcaína)	Región Mojana	0,092 ± 0,039	0,163-0,247	0,091 ± 0,048	87,0 ± 3,4	80,5-92,8		(37)
	Región Mojana	0,186 ± 0,025	0,415 - 0,619	0,165 ± 0,027	89,1 ± 2,6	85,4-91,8		
<i>Elops saurus</i> (Malacho)	Región Mojana	0,14 ± 0,01		0,10 ± 0,01	71			
<i>Opisthonema oglinum</i> (Machuelo)	Región Mojana	0,21 ± 0,01		0,18 ± 0,01	86			
<i>Cynoponticus savanna</i>	Región Mojana	0,22		0,2	91			
<i>Ariopsis sp.</i>	Región Mojana	0,09 ± 0,02		0,065 ± 0,02	72			
<i>Bagre marinus</i>	Región Mojana	0,15		0,11	73			
<i>Cathorops mapale</i>	Región Mojana	0,21 ± 0,01		0,17 ± 0,01	81			
<i>Centropomus ensiferus</i>	Región Mojana	0,12 ± 0,00		0,10 ± 0,00	83			
<i>Caranx crysos</i>	Región Mojana	0,58		0,52	90			
<i>Caranx hipos</i>	Región Mojana	0,07 ± 0,01		0,05 ± 0,01	71			
<i>Oligopites palometa</i>	Región Mojana	1,20 ± 0,19		1,07 ± 0,17	89			
<i>Diapterus rhambeus</i>	Región Mojana	0,11 ± 0,01	NR	0,08 ± 0,00	73		NR	
<i>Lutjanus synagris</i>	Región Mojana	0,10 ± 0,01	NR	0,07 ± 0,01	70		NR	
<i>Haemulon bonariense</i>	Bahía Cartagena	0,10 ± 0,01	NR	0,08 ± 0,01	80		NR	(149)
<i>Haemulon steindachneri</i>	Bahía Cartagena	0,53 ± 0,21	NR	0,50 ± 0,21	94		NR	
<i>Bairdiella ronchus</i>	Bahía Cartagena	0,15 ± 0,01	NR	0,12 ± 0,01	80		NR	
<i>Cynoscion jamaicensis</i>	Bahía Cartagena	0,19 ± 0,00	NR	0,16 ± 0,00	84		NR	
<i>Corvula sanctaeruciae</i>	Bahía Cartagena	0,24 ± 0,01	NR	0,18 ± 0,01	75		NR	
<i>Isopisthus parvipinnis</i>	Bahía Cartagena	0,23 ± 0,02	NR	0,19,0,02	83		NR	
<i>Menticirrhus americanus</i>	Bahía Cartagena	0,05	NR	0,03	60		NR	
<i>Micropogonias furnieri</i>	Bahía Cartagena	0,05	NR	0,03	60		NR	
<i>Stellifer griseus</i>	Bahía Cartagena	0,15 ± 0,01	NR	0,12 ± 0,01	80		NR	
<i>Umbrina coroides</i>	Bahía Cartagena	0,16 ± 0,04	NR	0,13 ± 0,04	81		NR	
<i>Mugil incilis</i>	Bahía Cartagena	0,07 ± 0,00	NR	0,04 ± 0,00	57		NR	
<i>Mugil liza</i>	Bahía Cartagena	0,02	NR	0,01	50		NR	
<i>Scomberomorus brasiliensis</i>	Bahía Cartagena	0,09 ± 0,00	NR	0,07 ± 0,00	78		NR	
<i>Trichilurus lepturus</i>	Bahía Cartagena	0,13 ± 0,01	NR	0,10 ± 0,01	77		NR	
<i>Mugil cephalus</i>	Bahía Cartagena	0,074 ± 0,0076	NR	NR	NR		NR	
<i>Stellifer furthii</i>	Bahía Cartagena	0,15 ± 0,023	NR	NR	NR		NR	
<i>Diapterus aureolus</i>	Bahía de Buenaventura	0,21 ± 0,03	NR	NR	NR		NR	Duque y Cagua. En revisión
<i>Pomadasys panamensis</i>	Bahía de Buenaventura	0,36 ± 0,14	NR	NR	NR		NR	
Ñato ( <i>Cathorops multiradiatus</i> )	Bahía de Buenaventura	0,62 ± 0,06	NR	NR	NR		NR	

Fuente: grupo de redacción ERIA

NR: no reportado en la referencia de origen

### 3.3 Consumo de pescado

En la Tabla 14 se presenta el peso promedio por grupos de edad, el porcentaje que consume pescado con una frecuencia diaria y la cantidad de pescado que consume la población en riesgo. Estos datos corresponden a los reportados por la Encuesta de la Situación Nutricional de los Colombianos ENSIN (150), sin embargo, para las poblaciones de las zonas de mayor contaminación con Hg por extracción de mineral, las cuales están ubicadas en regiones con alta disponibilidad de recurso hídrico, utilizado para el beneficio minero, y como provisión de especies ícticas para consumo humano, en los cuales se acumula el MeHg y se incorpora a la cadena trófica, no existen datos concluyentes de consumo.

Tabla 14. Consumo de pescado por la población colombiana, 2005

GRUPO DE EDAD	PESO PROMEDIO (kg)	PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN QUE CONSUME PESCADO DIARIAMENTE.	CANTIDAD(g/persona/día)
		MEDIA (Lím inf. – Lím sup.)	Media (Lím inf. – Lím sup.)
Población en general	64,9	9,9 (8,1-11,7)	95,1 (91,9-98,2)
4 a 8 años	21,3	9,4 (5,4-13,5)	68,3 (50,9-85,6)
9 a 13 años	35,5	9,7 (5,7-13,6)	82,2 (67,6-96,8)
14 a 18 años	52,4	9,5 (5,2-13,7)	94,3 (75,9-112,6)

Fuente: ENSIN 2005 (150)

### 3.4 Estimación de la exposición en Colombia

Para estimar la exposición a partir del consumo de las especies mencionadas más adelante, fue tenido en cuenta los datos de la (ENSIN) 2005, y los valores reportados en los estudios para MeHg en la carne de las especies ícticas.

Tabla 15 se presenta el cálculo de la estimación de la exposición por consumo de pescado para HgT en función de la concentración reportada en los estudios de las Tabla 12 y Tabla 13. Por su parte, en la Tabla 16 se presenta la estimación de la exposición para MeHg.

Tabla 15. Exposición calculada de HgT para las especies reportadas en los estudios de las tablas 12 y 13

ESPECIE	HgT (mg/kg alimento)	EXPOSICIÓN (µg/kg de peso corporal/día)				EXPOSICIÓN (µg/kg de peso corporal/semana)				REF.
		Población en general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	Población en general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> (Bagre rayado)	0,134	0,2	0,43	0,31	0,24	1,4	3,01	2,17	1,68	(148)
	0,056	0,08	0,18	0,13	0,1	0,56	1,26	0,91	0,7	
	0,510	0,77	1,64	1,18	0,92	5,39	11,48	8,26	6,44	
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Bagre tigre, rayado, pintado)	0,432	0,65	1,39	1	0,78	4,55	9,73	7	5,46	(48)
	0,413	0,62	1,32	0,96	0,74	4,34	9,24	6,72	5,18	(37)
	0,423	0,64	1,36	0,98	0,76	4,48	9,52	6,86	5,32	(47)
<i>Sorubim cuspidatus</i> (Blanquillo)	0,465	0,7	1,49	1,08	0,84	4,9	10,43	7,56	5,88	(148)
	0,934	1,41	2,99	2,16	1,68	9,87	20,93	15,12	11,76	
	0,091	0,14	0,29	0,21	0,16	0,98	2,03	1,47	1,12	
<i>Leporinus muyscorum</i> (Liseta)	0,092	0,14	0,3	0,21	0,17	0,98	2,1	1,47	1,19	(68)
	0,743	1,12	2,38	1,72	1,34	7,84	16,66	12,04	9,38	
	0,330	0,5	1,06	0,76	0,59	3,5	7,42	5,32	4,13	
<i>Cyprinus carpio</i> (Carpa)	0,465	0,7	1,49	1,08	0,84	4,9	10,43	7,56	5,88	(37)
	0,130	0,2	0,42	0,3	0,23	1,4	2,94	2,1	1,61	
	0,593	0,9	1,9	1,37	1,07	6,3	13,3	9,59	7,49	
<i>Leporinus muyscorum</i> (Liseta)	0,065	0,1	0,21	0,15	0,12	0,7	1,47	1,05	0,84	(68)
	0,064	0,1	0,21	0,15	0,12	0,7	1,47	1,05	0,84	
	0,222	0,34	0,71	0,51	0,4	2,38	4,97	3,57	2,8	
<i>Caquetaia kraussii</i> (Mojarra amarilla)	0,263	0,4	0,84	0,61	0,47	2,8	5,88	4,27	3,29	(47)
	0,261	0,39	0,84	0,6	0,47	2,73	5,88	4,2	3,29	
	0,245	0,37	0,79	0,57	0,44	2,59	5,53	3,99	3,08	
<i>Hoplias malabaricus</i> (Moncholo)	0,283	0,43	0,91	0,66	0,51	3,01	6,37	4,62	3,57	(48)
	0,403	0,61	1,29	0,93	0,73	4,27	9,03	6,51	5,11	
	0,401	0,61	1,29	0,93	0,72	4,27	9,03	6,51	5,04	
<i>Plagioscion surinamensis</i> (Pacora, curvinata)	0,39	0,59	1,25	0,9	0,7	4,13	8,75	6,3	4,9	(37)
	1,09	1,65	3,5	2,52	1,96	11,55	24,5	17,64	13,72	
	0,457	0,69	1,47	1,06	0,82	4,83	10,29	7,42	5,74	
<i>Hoplias malabaricus</i> (Moncholo)	0,328	0,5	1,05	0,76	0,59	3,5	7,35	5,32	4,13	(47)
	0,315	0,48	1,01	0,73	0,57	3,36	7,07	5,11	3,99	
	0,278	0,42	0,89	0,64	0,5	2,94	6,23	4,48	3,5	
<i>Plagioscion surinamensis</i> (Pacora, curvinata)	0,58	0,88	1,86	1,34	1,04	6,16	13,02	9,38	7,28	(9)
	0,684	1,03	2,19	1,58	1,23	7,21	15,33	11,06	8,61	
	0,317	0,48	1,02	0,73	0,57	3,36	7,14	5,11	3,99	
<i>Ageneiosus caucanus</i>	0,277	0,42	0,89	0,64	0,5	2,94	6,23	4,48	3,5	(47)
	0,307	0,46	0,98	0,71	0,55	3,22	6,86	4,97	3,85	
	0,53	0,8	1,7	1,23	0,95	5,6	11,9	8,61	6,65	
<i>Salminus affinis</i> (Rubio picuda)	0,504	0,76	1,62	1,17	0,91	5,32	11,34	8,19	6,37	(47)
	0,512	0,77	1,64	1,19	0,92	5,39	11,48	8,33	6,44	
	0,279	0,42	0,89	0,65	0,5	2,94	6,23	4,55	3,5	
<i>Rhamdia sebae</i> (Barbudo negro)	0,395	0,6	1,27	0,91	0,71	4,2	8,89	6,37	4,97	(37)
	0,183	0,28	0,59	0,42	0,33	1,96	4,13	2,94	2,31	
	0,08	0,12	0,26	0,19	0,14	0,84	1,82	1,33	0,98	
<i>Pimelodus sp.</i> (Comelón)	0,111	0,17	0,36	0,26	0,2	1,19	2,52	1,82	1,4	(148)
	0,025	0,04	0,08	0,06	0,04	0,28	0,56	0,42	0,28	
	0,078	0,12	0,25	0,18	0,14	0,84	1,75	1,26	0,98	

Continua en la siguiente página

Viene de la pagina anterior

ESPECIE	HgT (mg/kg alimento)	EXPOSICIÓN (µg/kg de peso corporal/día)				EXPOSICIÓN (µg/kg de peso corporal/semana)				REF.
		Población en general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	Población en general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> (Bagre rayado)	0,114	0,17	0,37	0,26	0,21	1,19	2,59	1,82	1,47	(148)
	0,127	0,19	0,41	0,29	0,23	1,33	2,87	2,03	1,61	
	0,008	0,01	0,03	0,02	0,01	0,07	0,21	0,14	0,07	
<i>Prochilodus magdalenae</i> (Bocachico)	0,065	0,1	0,21	0,15	0,12	0,7	1,47	1,05	0,84	(68)
	0,151	0,23	0,48	0,35	0,27	1,61	3,36	2,45	1,89	
	0,143	0,22	0,46	0,33	0,26	1,54	3,22	2,31	1,82	
<i>Tripottheus Magdalenae</i> (Arenca)	0,13	0,2	0,42	0,3	0,23	1,4	2,94	2,1	1,61	(47)
	0,106	0,16	0,34	0,25	0,19	1,12	2,38	1,75	1,33	
	0,157	0,24	0,5	0,36	0,28	1,68	3,5	2,52	1,96	
<i>Panaque gibbosus</i> (Cacucho)	0,062	0,09	0,2	0,14	0,11	0,63	1,4	0,98	0,77	(148)
	0,028	0,04	0,09	0,06	0,05	0,28	0,63	0,42	0,35	
	0,027	0,04	0,09	0,06	0,05	0,28	0,63	0,42	0,35	
<i>Curimata magdalenae</i> (Viejito)	0,085	0,13	0,27	0,2	0,15	0,91	1,89	1,4	1,05	(148)
	0,341	0,52	1,09	0,79	0,61	3,64	7,63	5,53	4,27	
	0,182	0,27	0,58	0,42	0,33	1,89	4,06	2,94	2,31	
<i>Trichogaster sp</i> (Gurami)	0,043	0,06	0,14	0,1	0,08	0,42	0,98	0,7	0,56	(9)
	0,092	0,14	0,3	0,21	0,17	0,98	2,1	1,47	1,19	
	0,186	0,28	0,6	0,43	0,33	1,96	4,2	3,01	2,31	
<i>Curimata mivartii</i> (Vizcaína)	0,140	0,21	0,45	0,32	0,25	1,47	3,15	2,24	1,75	(149)
	0,210	0,32	0,67	0,49	0,38	2,24	4,69	3,43	2,66	
	0,220	0,33	0,71	0,51	0,4	2,31	4,97	3,57	2,8	
<i>Elops saurus</i> (Malacho)	0,090	0,14	0,29	0,21	0,16	0,98	2,03	1,47	1,12	(149)
	0,150	0,23	0,48	0,35	0,27	1,61	3,36	2,45	1,89	
	0,210	0,32	0,67	0,49	0,38	2,24	4,69	3,43	2,66	
<i>Opisthonema oglinum</i> (Machuelo)	0,120	0,18	0,38	0,28	0,22	1,26	2,66	1,96	1,54	(149)
	0,580	0,88	1,86	1,34	1,04	6,16	13,02	9,38	7,28	
	0,070	0,11	0,22	0,16	0,13	0,77	1,54	1,12	0,91	
<i>Cynoponticus savanna</i>	1,200	1,81	3,85	2,78	2,16	12,67	26,95	19,46	15,12	(149)
	0,110	0,17	0,35	0,25	0,2	1,19	2,45	1,75	1,4	
	0,100	0,15	0,32	0,23	0,18	1,05	2,24	1,61	1,26	
<i>Ariopsis sp.</i>	0,100	0,15	0,32	0,23	0,18	1,05	2,24	1,61	1,26	(149)
	0,530	0,8	1,7	1,23	0,95	5,6	11,9	8,61	6,65	
	0,150	0,23	0,48	0,35	0,27	1,61	3,36	2,45	1,89	
<i>Caranx crysos</i>	0,190	0,29	0,61	0,44	0,34	2,03	4,27	3,08	2,38	(149)
	0,240	0,36	0,77	0,56	0,43	2,52	5,39	3,92	3,01	
	0,230	0,35	0,74	0,53	0,41	2,45	5,18	3,71	2,87	
<i>Caranx hipos</i>	0,050	0,08	0,16	0,12	0,09	0,56	1,12	0,84	0,63	(149)
	0,050	0,08	0,16	0,12	0,09	0,56	1,12	0,84	0,63	
	0,150	0,23	0,48	0,35	0,27	1,61	3,36	2,45	1,89	
<i>Oligoplites palometa</i>	0,160	0,24	0,51	0,37	0,29	1,68	3,57	2,59	2,03	(149)
	0,070	0,11	0,22	0,16	0,13	0,77	1,54	1,12	0,91	
	0,020	0,03	0,06	0,05	0,04	0,21	0,42	0,35	0,28	
<i>Haemulon bonariense</i>	0,090	0,14	0,29	0,21	0,16	0,98	2,03	1,47	1,12	(149)
	0,150	0,23	0,48	0,35	0,27	1,61	3,36	2,45	1,89	
	0,160	0,24	0,51	0,37	0,29	1,68	3,57	2,59	2,03	
<i>Haemulon steindachneri</i>	0,070	0,11	0,22	0,16	0,13	0,77	1,54	1,12	0,91	(149)
	0,020	0,03	0,06	0,05	0,04	0,21	0,42	0,35	0,28	
	0,090	0,14	0,29	0,21	0,16	0,98	2,03	1,47	1,12	
<i>Bairdiella ronchus</i>	0,130	0,2	0,42	0,3	0,23	1,4	2,94	2,1	1,61	(149)
	0,074	0,11	0,24	0,17	0,13	0,77	1,68	1,19	0,91	
	0,150	0,23	0,48	0,35	0,27	1,61	3,36	2,45	1,89	
<i>Cynoscion jamaicensis</i>	0,210	0,32	0,67	0,49	0,38	2,24	4,69	3,43	2,66	Duque y Cogua. En revisión
	0,360	0,54	1,15	0,83	0,65	3,78	8,05	5,81	4,55	
	0,620	0,94	1,99	1,44	1,12	6,58	13,93	10,08	7,84	

Fuente: grupo de redacción ERIA

Tabla 16. Exposición calculada de MeHg para las especies reportadas en los estudios de las tablas 12 y 13

ESPECIE	MeHg (mg/kg alimento)	EXPOSICIÓN (µg/kg de peso corporal/día)				EXPOSICIÓN (µg/kg de peso corporal/semana)				REF.
		Promedio	Población en general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	Población en general	4 a 8 años	9 a 13 años	
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> (Bagre rayado)	0,433 0,056	0,65 0,08	1,39 0,18	1 0,13	0,78 0,1	4,55 0,56	9,73 1,26	7 0,91	5,46 0,7	(148)
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Bagre tigre, rayado, pintado)	0,375	0,57	1,2	0,87	0,67	3,99	8,4	6,09	4,69	(37)
<i>Sorubín cuspicaudus</i> (Blanquillo)	0,418	0,63	1,34	0,97	0,75	4,41	9,38	6,79	5,25	(37)
<i>Leporinus muyscorum</i> (Liseta)	0,234	0,35	0,75	0,54	0,42	2,45	5,25	3,78	2,94	(37)
<i>Caquetaia kraussii</i> (Mojarra amarilla)	0,335	0,51	1,07	0,78	0,6	3,57	7,49	5,46	4,2	(37)
<i>Hoplias malabaricus</i> (Moncholo)	0,274	0,41	0,88	0,63	0,49	2,87	6,16	4,41	3,43	(37)
<i>Plagioscion surinamensis</i> (Pacora, curvinata)	0,292	0,44	0,94	0,68	0,53	3,08	6,58	4,76	3,71	(37)
<i>Ageneiosus caucanus</i> (Doncella)	0,497	0,75	1,59	1,15	0,89	5,25	11,13	8,05	6,23	(37)
<i>Salminus affinis</i> (Rubio picuda)	0,25	0,38	0,8	0,58	0,45	2,66	5,6	4,06	3,15	(37)
<i>Rhamdia sebae</i> (Barbudo negro)	0,331	0,5	1,06	0,77	0,6	3,5	7,42	5,39	4,2	(37)
<i>Cyrtocharax Magdalenae</i> (Yalúa)	0,167	0,25	0,54	0,39	0,3	1,75	3,78	2,73	2,1	(37)
<i>Prochilodus magdalenae</i> (Bocachico)	0,095	0,14	0,3	0,22	0,17	0,98	2,1	1,54	1,19	(37)
<i>Triportheus Magdalenae</i> (Arenca)	0,314	0,47	1,01	0,73	0,57	3,29	7,07	5,11	3,99	(148)
<i>Panaque gibbosus</i> (Cacucho)	0,175	0,26	0,56	0,41	0,31	1,82	3,92	2,87	2,17	(37)
<i>Trichogaster sp</i> (Gurami)	0,038	0,06	0,12	0,09	0,07	0,42	0,84	0,63	0,49	(37)
<i>Curimata magdalenae</i> (Viejito)	0,091	0,14	0,29	0,21	0,16	0,98	2,03	1,47	1,12	(37)
<i>Curimata mivartii</i> (Vizcaína)	0,165	0,25	0,53	0,38	0,3	1,75	3,71	2,66	2,1	(37)
<i>Elops saurus</i> (Malacho)	0,100	0,15	0,32	0,23	0,18	1,05	2,24	1,61	1,26	(149)
<i>Opisthonema oglinum</i>	0,180	0,27	0,58	0,42	0,32	1,89	4,06	2,94	2,24	(149)
<i>Cynopotentic savanna</i>	0,200	0,3	0,64	0,46	0,36	2,1	4,48	3,22	2,52	(149)
<i>Ariopsis sp.</i>	0,065	0,1	0,21	0,15	0,12	0,7	1,47	1,05	0,84	(149)
<i>Bagre marinus</i>	0,110	0,17	0,35	0,25	0,2	1,19	2,45	1,75	1,4	(149)
<i>Cathorops mapale</i>	0,170	0,26	0,55	0,39	0,31	1,82	3,85	2,73	2,17	(149)
<i>Centropomus ensiferus</i>	0,100	0,15	0,32	0,23	0,18	1,05	2,24	1,61	1,26	(149)
<i>Caranx crysos</i>	0,520	0,79	1,67	1,2	0,94	5,53	11,69	8,4	6,58	(149)
<i>Caranx hipos</i>	0,050	0,08	0,16	0,12	0,09	0,56	1,12	0,84	0,63	(149)
<i>Oligoplites palometa</i>	1,070	1,62	3,43	2,48	1,93	11,34	24,01	17,36	13,51	(149)
<i>Diapterus rhombeus</i>	0,080	0,12	0,26	0,19	0,14	0,84	1,82	1,33	0,98	(149)
<i>Lutjanus synagris</i>	0,070	0,11	0,22	0,16	0,13	0,77	1,54	1,12	0,91	(149)
<i>Haemulon bonariense</i>	0,080	0,12	0,26	0,19	0,14	0,84	1,82	1,33	0,98	(149)
<i>Haemulon steindachneri</i>	0,500	0,76	1,6	1,16	0,9	5,32	11,2	8,12	6,3	(149)
<i>Bairdiella ronchus</i>	0,120	0,18	0,38	0,28	0,22	1,26	2,66	1,96	1,54	(149)
<i>Cynoscion jamaicensis</i>	0,16	0,24	0,51	0,37	0,29	1,68	3,57	2,59	2,03	(149)
<i>Corvula sanctaueciae</i>	0,18	0,27	0,58	0,42	0,32	1,89	4,06	2,94	2,24	(149)
<i>Isopisthus parvipinnis</i>	0,19	0,29	0,61	0,44	0,34	2,03	4,27	3,08	2,38	(149)
<i>Menticirrhus americanus</i>	0,03	0,05	0,1	0,07	0,05	0,35	0,7	0,49	0,35	(149)
<i>Micropogonias furnieri</i>	0,03	0,05	0,1	0,07	0,05	0,35	0,7	0,49	0,35	(149)
<i>Stellifer griseus</i>	0,12	0,18	0,38	0,28	0,22	1,26	2,66	1,96	1,54	(149)
<i>Umbrina coroides</i>	0,13	0,2	0,42	0,3	0,23	1,4	2,94	2,1	1,61	(149)
<i>Mugil incilis</i>	0,04	0,06	0,13	0,09	0,07	0,42	0,91	0,63	0,49	(149)
<i>Mugil liza</i>	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,14	0,21	0,14	0,14	(149)
<i>Scomberomorus brasiliensis</i>	0,07	0,11	0,22	0,16	0,13	0,77	1,54	1,12	0,91	(149)
<i>Trichiurus lepturus</i>	0,1	0,15	0,32	0,23	0,18	1,05	2,24	1,61	1,26	(149)

Fuente: grupo de redacción ERIA

# 4

## Caracterización del riesgo

### 4.1 Consideraciones de la estimación

Las siguientes consideraciones fueron tomadas en consideración para la estimación del riesgo:

- El consumo estimado varía según, la cantidad y el tipo de pez consumido. En la mayoría de los casos, la exposición no supera la PTWI del JECFA, con excepción de los reportes de contaminación para algunas especies de la Mojana, el Río Nechí, la Bahía de Cartagena y la Ciénaga de Ayapel, que se presentan en este documento.
- Se utilizó como parámetro de referencia toxicológica el valor de PTWI recomendado por el JECFA para HgT y MeHg, los cuales incluyen factores de seguridad de 100. Sin embargo, el consumo medio, en las regiones mencionadas, por parte de las mujeres embarazadas o que puedan llegar a estarlo, mujeres en fase de lactancia y niños de corta edad (entre 1 y 30 meses), puede superar el límite de 0,7 µg/kg peso corporal/semana recomendado por la National Research Council (NRC (US) por sus siglas en inglés).
- En el cálculo del porcentaje sobre la PTWI, se asume que la ingesta de HgT y MeHg se debe solamente al consumo de pescado, todos los días y con los niveles reportados por los estudios.
- Los límites máximos de Hg están establecidos únicamente en los productos pesqueros por ser la principal fuente de proteína en la dieta para las personas en estas regiones, en este sentido para el cálculo de la evaluación de la exposición fueron utilizados los valores reportados por la ENSIN 2005, asociados a los porcentajes de la población que

lo consume diariamente asumiendo el límite superior del consumo, sin embargo se sugiere utilizar valores de consumo propios de estas regiones.

- Los estudios citados para Colombia, muestran elevados niveles de contaminación por HgT y MeHg para algunas especies en las regiones de la Mojana, la Ciénaga de Ayapel, Nechí y la Bahía de Cartagena donde superan el límite permitido de 0,5mg/kg (todos los peces, excepto depredadores) según la FAO/OMS. De otra parte existen algunas especies que no superan el límite permitido, sin embargo el valor encontrado está muy cerca del límite máximo permitido, en este sentido un consumo elevado a la semana podría considerarse como factor de riesgo, en aquellas poblaciones donde la única fuente de proteína animal es el pescado.

#### 4.2 Estimación del porcentaje sobre la dosis de referencia y máximo consumo recomendado

Para la estimación del porcentaje sobre la dosis y máximo consumo recomendado fue utilizada la información en cuanto a consumo de alimentos en Colombia suministrada por la ENSIN 2005 / 2010; donde se tiene en cuenta la población colombiana entre 0 y 64 años de edad y los indicadores se presentan desagregados por grupos de edad, sexo, etnia y nivel socioeconómico. En cuanto a la referencia toxicológica para Hg fue utilizado el valor de PTWI recomendado por el JECFA para HgT y MeHg, los cuales incluyen factores de seguridad de 100. En el cálculo del porcentaje sobre la PTWI, se asume que la ingesta de HgT y MeHg se debe solamente al consumo de pescado, todos los días, y con los niveles reportados por los estudios. En la Tabla 17 se presenta el porcentaje de la PTWI para los grupos de población analizados y un máximo de consumo de g/día respecto a la concentración reportada de HgT. Por su parte en la Tabla 18 se presentan para MeHg.

Tabla 17. Porcentaje de la PTWI en relación con la exposición calculada en el numeral 5 para HgT

Especie	% PTWI				Máximo consumo por debajo del PTWI (g/día)				Ref.
	Población general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	Población general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> (Bagre rayado)	198,39	421,09	304,07	236,33	49,50	16,22	27,03	39,90	(148)
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Bagre tigre, rayado, pintado)	755,08	1602,65	1157,28	899,45	13,01	4,26	7,10	10,48	(68)
	639,60	1357,53	980,29	761,89	15,35	5,03	8,39	12,38	(48)
	611,47	1297,83	937,17	728,38	16,06	5,26	8,77	12,95	(37)
	626,27	1329,25	959,86	746,01	15,68	5,14	8,56	12,64	(47)
<i>Sorubin cuspidatus</i> (Blanquillo)	688,46	1461,24	1055,17	820,09	14,26	4,67	7,79	11,50	
	1382,84	2935,04	2119,42	1647,23	7,10	2,33	3,88	5,72	(148)
	134,73	285,96	206,50	160,49	72,89	23,88	39,81	58,76	
	136,21	289,10	208,76	162,25	72,09	23,62	39,37	58,12	
	1100,05	2334,83	1686,00	1310,37	8,93	2,93	4,88	7,20	(68)
	488,58	1037,01	748,83	582,00	20,10	6,59	10,98	16,20	(47)
	688,46	1461,24	1055,17	820,09	14,26	4,67	7,79	11,50	(37)
	192,47	408,52	294,99	229,27	51,02	16,72	27,86	41,13	
	877,97	1863,47	1345,63	1045,83	11,18	3,67	6,11	9,02	(148)
	96,24	204,26	147,50	114,64	102,04	33,44	55,73	82,26	
<i>Leporinus muyscorum</i> (Liseta)	94,76	201,12	145,23	112,87	103,64	33,96	56,60	83,55	
	328,68	697,62	503,76	391,52	29,88	9,79	16,32	24,09	(68)
	389,39	826,46	596,80	463,83	25,22	8,26	13,77	20,33	(48)
	386,42	820,18	592,26	460,31	25,41	8,33	13,88	20,49	(47)
	362,74	769,90	555,95	432,09	27,07	8,87	14,79	21,82	(37)
	419,00	889,31	642,18	499,11	23,44	7,68	12,80	18,89	(68)
<i>Caquetaia kraussii</i> (Mojarra amarilla)	596,66	1266,40	914,48	710,74	16,46	5,39	8,99	13,27	(48)
	593,70	1260,12	909,94	707,21	16,54	5,42	9,03	13,33	(47)
	577,42	1225,55	884,98	687,81	17,01	5,57	9,29	13,71	(37)
	1613,80	3425,26	2473,41	1922,35	6,09	1,99	3,32	4,91	(9)
<i>Hoplias malabaricus</i> (Moncholo)	676,61	1436,10	1037,02	805,98	14,51	4,76	7,93	11,70	(68)
	485,62	1030,72	744,29	578,47	20,22	6,63	11,04	16,30	(48)
	466,37	989,87	714,79	555,54	21,06	6,90	11,50	16,97	(47)
	411,59	873,60	630,83	490,29	23,86	7,82	13,03	19,23	(37)
	858,72	1822,62	1316,13	1022,90	11,44	3,75	6,25	9,22	(9)
	1012,70	2149,43	1552,12	1206,32	9,70	3,18	5,30	7,82	(68)
<i>Plagioscion surinamensis</i> (Pacora, curvinata)	469,34	996,15	719,33	559,07	20,92	6,86	11,43	16,87	(48)
	410,11	870,46	628,56	488,52	23,94	7,85	13,08	19,30	(47)
	454,53	964,73	696,64	541,43	21,60	7,08	11,80	17,42	(37)
	784,69	1665,49	1202,67	934,72	12,51	4,10	6,83	10,09	(9)
<i>Ageneiosus caucanus</i>	746,20	1583,79	1143,67	888,87	13,16	4,31	7,19	10,61	(47)
	758,04	1608,93	1161,82	902,98	12,95	4,25	7,08	10,44	(37)
<i>Salminus affinis</i> (Rubio picuda)	413,07	876,74	633,10	492,05	23,77	7,79	12,98	19,16	
<i>Rhamdia sebae</i> (Barbudo negro)	584,82	1241,26	896,33	696,63	16,79	5,50	9,17	13,54	(37)
<i>Cyrtocharax Magdaleneae</i> (Yalúa)	270,94	575,07	415,26	322,74	36,24	11,88	19,79	29,22	
	168,78	358,24	258,69	201,05	58,18	19,07	31,78	46,90	
	188,03	399,09	288,19	223,98	52,23	17,11	28,52	42,10	(148)
	11,84	25,14	18,15	14,11	829,08	271,68	452,81	668,37	
<i>Prochilodus magdaleneae</i> (Bocachico)	96,24	204,26	147,50	114,64	102,04	33,44	55,73	82,26	
	223,56	474,51	342,65	266,31	43,92	14,39	23,99	35,41	(68)
	211,72	449,37	324,49	252,20	46,38	15,20	25,33	37,39	(48)
	192,47	408,52	294,99	229,27	51,02	16,72	27,86	41,13	(47)
	156,94	333,10	240,53	186,94	62,57	20,50	34,17	50,44	(37)
	232,45	493,36	356,26	276,89	42,25	13,84	23,07	34,06	(9)

Continúa en la siguiente página

Viene de la pagina anterior

Especie	% PTWI				Máximo consumo por debajo del PTWI (g/día)				Ref.
	Población general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	Población general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	
<i>Triplotheus Magdalanae</i> (Arenca)	91,79	194,83	140,69	109,34	106,98	35,06	58,43	86,24	(148)
	41,46	87,99	63,54	49,38	236,88	77,62	129,37	190,96	
	39,97	84,85	61,27	47,62	245,65	80,50	134,16	198,03	
	125,85	267,11	192,88	149,91	78,03	25,57	42,62	62,91	
	504,87	1071,57	773,79	601,40	19,45	6,37	10,62	15,68	
<i>Panaque gibbosus</i> (Cacucho)	269,46	571,92	412,99	320,98	36,44	11,94	19,90	29,38	
<i>Trichogaster sp</i> (Gurami)	63,66	135,12	97,57	75,84	154,25	50,55	84,24	124,35	(9)
<i>Curimata magdalanae</i> (Viejito)	136,21	289,10	208,76	162,25	72,09	23,62	39,37	58,12	
<i>Curimata mivartii</i> (Vizcaína)	275,38	584,49	422,07	328,03	35,66	11,69	19,48	28,75	
<i>Elops saurus</i> (Malacho)	207,28	439,94	317,69	246,91	47,38	15,52	25,87	38,19	
<i>Opisthonema oglinum</i> (Machuelo)	310,92	659,91	476,53	370,36	31,58	10,35	17,25	25,46	
<i>Cynoponticus savanna</i>	325,72	691,34	499,22	388,00	30,15	9,88	16,47	24,30	
<i>Ariopsis sp.</i>	133,25	282,82	204,23	158,73	73,70	24,15	40,25	59,41	
<i>Bagre marinus</i>	222,08	471,37	340,38	264,54	44,22	14,49	24,15	35,65	
<i>Cathorops mapale</i>	310,92	659,91	476,53	370,36	31,58	10,35	17,25	25,46	
<i>Centropomus ensiferus</i>	177,67	377,09	272,30	211,64	55,27	18,11	30,19	44,56	
<i>Caranx crysos</i>	858,72	1822,62	1316,13	1022,90	11,44	3,75	6,25	9,22	
<i>Caranx hipos</i>	103,64	219,97	158,84	123,45	94,75	31,05	51,75	76,38	
<i>Oligoplites palometa</i>	1776,66	3770,93	2723,02	2116,35	5,53	1,81	3,02	4,46	
<i>Diapterus rhombeus</i>	162,86	345,67	249,61	194,00	60,30	19,76	32,93	48,61	
<i>Lutjanus synagris</i>	148,06	314,24	226,92	176,36	66,33	21,73	36,22	53,47	
<i>Haemulon bonariense</i>	148,06	314,24	226,92	176,36	66,33	21,73	36,22	53,47	(149)
<i>Haemulon steindachneri</i>	784,69	1665,49	1202,67	934,72	12,51	4,10	6,83	10,09	
<i>Bairdiella ronchus</i>	222,08	471,37	340,38	264,54	44,22	14,49	24,15	35,65	
<i>Cynoscion jamaicensis</i>	281,31	597,06	431,14	335,09	34,91	11,44	19,07	28,14	
<i>Corvula sanctaেলuciae</i>	355,33	754,19	544,60	423,27	27,64	9,06	15,09	22,28	
<i>Isopisthus parvipinnis</i>	340,53	722,76	521,91	405,63	28,84	9,45	15,75	23,25	
<i>Menticirrhus americanus</i>	74,03	157,12	113,46	88,18	132,65	43,47	72,45	106,94	
<i>Micropogonias furnieri</i>	74,03	157,12	113,46	88,18	132,65	43,47	72,45	106,94	
<i>Stellifer griseus</i>	222,08	471,37	340,38	264,54	44,22	14,49	24,15	35,65	
<i>Umbrina coroides</i>	236,89	502,79	363,07	282,18	41,45	13,58	22,64	33,42	
<i>Mugil incilis</i>	103,64	219,97	158,84	123,45	94,75	31,05	51,75	76,38	
<i>Mugil liza</i>	29,61	62,85	45,38	35,27	331,63	108,67	181,12	267,35	
<i>Scomberomorus brasiliensis</i>	133,25	282,82	204,23	158,73	73,70	24,15	40,25	59,41	
<i>Trichiurus lepturus</i>	192,47	408,52	294,99	229,27	51,02	16,72	27,86	41,13	
<i>Mugil cephalus</i>	109,56	232,54	167,92	130,51	89,63	29,37	48,95	72,26	
<i>Stellifer furthii</i>	222,08	471,37	340,38	264,54	44,22	14,49	24,15	35,65	
<i>Diapterus aureolus</i>	310,92	659,91	476,53	370,36	31,58	10,35	17,25	25,46	
<i>Pomadasys panamensis</i>	533,00	1131,28	816,91	634,91	18,42	6,04	10,06	14,85	Duque y Cagua. En revisión
Ñato ( <i>Cathorops multiradiatus</i> )	917,94	1948,31	1406,89	1093,45	10,70	3,51	5,84	8,62	

Fuente: grupo de redacción ERIA

Tabla 18. Porcentaje de la PTWI en relación con la exposición calculada en el numeral 5 para MeHg

Especie	% PTWI				Máximo consumo por debajo de la PTWI (g)				Ref.
	Población general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	Población general	4 a 8 años	9 a 13 años	14 a 18 años	
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> (Bagre rayado)	2008,40	4262,77	3078,18	2392,39	4,89	1,60	2,67	3,94	(148)
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Bagre tigre. rayado. pintado)	1739,37	3691,78	2665,86	2071,93	5,65	1,85	3,08	4,55	(37)
<i>Sorubim cuspidatus</i> (Blanquillo)	1938,82	4115,10	2971,55	2309,51	5,06	1,66	2,77	4,08	(37)
<i>Leporinus muyscorum</i> (Liseta)	1085,37	2303,67	1663,50	1292,88	9,05	2,96	4,94	7,29	(37)
<i>Caquetaia kraussii</i> (Mojarra amarilla)	1553,84	3297,99	2381,50	1850,92	6,32	2,07	3,45	5,09	(37)
<i>Hoplias malabaricus</i> (Moncholo)	1270,90	2697,46	1947,86	1513,89	7,73	2,53	4,22	6,23	(37)
<i>Plagioscion surinamensis</i> (Pacora. curvinata)	1354,39	2874,66	2075,82	1613,34	7,25	2,38	3,96	5,85	(37)
<i>Ageneiosus caucanus</i> (Doncella)	2305,25	4892,84	3533,16	2746,00	4,26	1,40	2,33	3,43	(37)
<i>Salminus affinis</i> (Rubio picuda)	1159,58	2461,19	1777,24	1381,29	8,47	2,78	4,63	6,83	
<i>Rhamdia sebae</i> (Barbudo negro)	1535,29	3258,61	2353,07	1828,82	6,40	2,10	3,49	5,16	(37)
<i>Cyrtocharax Magdalanae</i> (Yalúa)	774,60	1644,07	1187,20	922,70	12,68	4,15	6,92	10,22	
<i>Prochilodus magdalanae</i> (Bocachico)	440,64	935,25	675,35	524,89	22,29	7,30	12,17	17,97	(37)
<i>Triplotheus agdalanae</i> (Arenca)	1456,43	3091,25	2232,22	1734,90	6,74	2,21	3,68	5,44	(148)
<i>Panaque gibbosus</i> (Cacucho)	811,71	1722,83	1244,07	966,90	12,10	3,96	6,61	9,75	
<i>Trichogaster sp</i> (Gurami)	176,26	374,10	270,14	209,96	55,71	18,26	30,43	44,91	(37)
<i>Curimata magdalanae</i> (Viejito)	422,09	895,87	646,92	502,79	23,27	7,62	12,71	18,76	
<i>Curimata mivartii</i> (Vizcaína)	765,32	1624,38	1172,98	911,65	12,83	4,20	7,01	10,34	
<i>Elops saurus</i> (Malacho)	463,83	984,47	710,90	552,51	21,17	6,94	11,56	17,07	
<i>Opisthonema oglinum</i>	834,90	1772,05	1279,61	994,53	11,76	3,85	6,42	9,48	
<i>Cynoponticus savanna</i>	927,67	1968,95	1421,79	1105,03	10,59	3,47	5,78	8,53	
<i>Ariopsis sp.</i>	301,49	639,91	462,08	359,13	32,57	10,67	17,79	26,26	
<i>Bagre marinus</i>	510,22	1082,92	781,99	607,77	19,25	6,31	10,51	15,52	
<i>Cathorops mapale</i>	788,52	1673,61	1208,52	939,27	12,45	4,08	6,80	10,04	
<i>Centropomus ensiferus</i>	463,83	984,47	710,90	552,51	21,17	6,94	11,56	17,07	
<i>Caranx crysos</i>	2411,93	5119,27	3696,66	2873,07	4,07	1,33	2,22	3,28	
<i>Caranx hipos</i>	231,92	492,24	355,45	276,26	42,34	13,88	23,13	34,13	
<i>Oligoplites palometa</i>	4963,01	10533,87	7606,60	5911,90	1,98	0,65	1,08	1,60	
<i>Diapterus rhombeus</i>	371,07	787,58	568,72	442,01	26,46	8,67	14,45	21,33	
<i>Lutjanus synagris</i>	324,68	689,13	497,63	386,76	30,24	9,91	16,52	24,38	
<i>Haemulon bonariense</i>	371,07	787,58	568,72	442,01	26,46	8,67	14,45	21,33	(149)
<i>Haemulon steindachneri</i>	2319,16	4922,37	3554,48	2762,57	4,23	1,39	2,31	3,41	
<i>Bairdiella ronchus</i>	556,60	1181,37	853,08	663,02	17,64	5,78	9,64	14,22	
<i>Cynoscion jamaicensis</i>	742,13	1575,16	1137,44	884,02	13,23	4,34	7,23	10,67	
<i>Corvula sanctaেলuciae</i>	834,90	1772,05	1279,61	994,53	11,76	3,85	6,42	9,48	
<i>Isopisthus parvipinnis</i>	881,28	1870,50	1350,70	1049,78	11,14	3,65	6,09	8,98	
<i>Menticirrhus americanus</i>	139,15	295,34	213,27	165,75	70,57	23,13	38,54	56,89	
<i>Micropogonias furnieri</i>	139,15	295,34	213,27	165,75	70,57	23,13	38,54	56,89	
<i>Stellifer griseus</i>	556,60	1181,37	853,08	663,02	17,64	5,78	9,64	14,22	
<i>Umbrina coroides</i>	602,98	1279,82	924,17	718,27	16,29	5,34	8,89	13,13	
<i>Mugil incilis</i>	185,53	393,79	284,36	221,01	52,93	17,34	28,91	42,67	
<i>Mugil liza</i>	46,38	98,45	71,09	55,25	211,71	69,38	115,63	170,67	
<i>Scomberomorus brasiliensis</i>	324,68	689,13	497,63	386,76	30,24	9,91	16,52	24,38	
<i>Trichiurus lepturus</i>	463,83	984,47	710,90	552,51	21,17	6,94	11,56	17,07	

Fuente: grupo de redacción ERIA

# 5

## Medidas de control y prevención

### 5.1 Colombia

Para la captación, reporte, seguimiento y manejo de las intoxicaciones por Hg (151), Colombia cuenta con el Sistema de Vigilancia en Salud Pública (Sivigila), que permite el seguimiento rutinario, continuo y sistemático de éstas, orientando las medidas de prevención y control. En la actualidad se cuenta con un protocolo para atender las intoxicaciones por Hg desarrollado por el INS (152). Con base en los lineamientos de PNUMA para la identificación de poblaciones en riesgo por exposición a Hg (143), en este documento se propone un diagrama de acciones (anexo 1) a seguir en el proceso de vigilancia y control del riesgo por exposición a Hg y/o MeHg derivado del consumo de peces contaminados con el metal. En el anexo 1 se presenta un diagrama de acciones propuesto para establecer el seguimiento a la presencia de Hg en peces a partir de los hallazgos. Cabe destacar que la exposición o ingesta de MeHg puede estimarse para un individuo o una población si se dispone de la siguiente información:

- a. Tipos (especies) y cantidad (frecuencia y tamaño de la porción) de peces ingeridos por unidad de tiempo (día, semana o mes)
- b. Concentración de MeHg en los peces consumidos
- c. Peso corporal de la persona que consume los peces

Es necesario señalar que en algunas oportunidades se sobrestiman los riesgos cuando se trata de las concentraciones totales de Hg en peces. Por tanto; en este documento se recomienda determinar las concentraciones puntuales de MeHg en las diferentes especies de peces que son consumidas por poblaciones expuestas y cabe resaltar la importancia de ser cuidadosos a la hora de tomar información referente a la cantidad e importancia de cada especie de pez dentro de la dieta.

Otra manera de evaluar la exposición a MeHg es determinando su concentración en muestras de cabello de personas expuestas. El cabello acumula Hg (al menos 80% como MeHg) durante su formación y una vez retenido no retorna a la sangre, por lo que es un buen biomarcador de exposición por largos periodos de tiempo (meses) en comparación con la sangre que suministra un biomarcador de exposición más corto (horas) (143). Se recomienda utilizar toda la información que sea posible (Ingesta semanal, niveles de Hg o MeHg en cabello, entre otras). Realizar el levantamiento de la línea base de un ecosistema, en cuanto a diversidad y densidad de su flora y fauna, que permita servir de base para la comparación a través del tiempo de posibles efectos del mercurio en el ecosistema y en humanos, lo cual necesita estar acompañado de mediciones periódicas de mercurio.

## 5.2 Iniciativas globales relacionadas con la disminución del uso y disposición de Hg

El Hg es una sustancia de relevancia para la gestión de residuos peligrosos especiales, debido al desconocimiento de la mayoría de productos y procesos que lo contienen y a su potencial toxicológico independiente de su concentración. En la actualidad, se estima que las liberaciones mundiales de Hg son del orden de 6.150 toneladas por año y provienen de actividades antropogénicas (10, 153, 154). Atendiendo al impacto sobre los diferentes ecosistemas y en especial sobre la salud animal y humana, se han generado iniciativas internacionales como el Convenio de Basilea relacionado con el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación, vigente desde 1994 y suscrito por Colombia en 1996.

En el año 2002, (PNUMA), en cooperación con el Programa Interinstitucional de Gestión Racional de los Productos Químicos (IOMC), publicó la iniciativa "Global Mercury Assessment Report" (155) y en el año 2005, el PNUMA facilitó el documento: "Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de Hg", con el objetivo de estandarizar el cálculo de éstas en aire, agua, suelo, residuos, productos y tratamiento/disposición específicas a partir de las diferentes fuentes de tal forma que fuese una herramienta de apoyo al proceso de evaluación de los riesgos y estructuración de políticas ambientales.

En 2007, Chile, Ecuador y Panamá acogieron la iniciativa de PNUMA y elaboraron sus inventarios nacionales de liberaciones de Hg, actividad que Colombia en 2009 realizó a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). La OPS/OMS entre los años 2010 y 2011 lideró un convenio de cooperación técnica entre Colombia, Brasil y Bolivia para la generación de cuatro estrategias de fortalecimiento y vigilancia de la salud de las poblaciones expuestas al Hg:

1. Vigilancia de la salud (definición y aplicación de instrumentos de notificación de casos; establecimiento de los sistemas de información; percepción y comunicación de riesgos)
2. Metodologías analíticas para la cuantificación del Hg (intercambio de técnicas y metodologías analíticas y control de calidad)
3. Investigación (priorización de líneas de investigación sobre el Hg; divulgación de la información)
4. Atención en salud (establecimiento de protocolos de diagnóstico y manejo clínico)

Lo anterior, está basado principalmente en los lineamientos establecidos por UNPE (143) para la identificación de poblaciones en riesgo por exposición a Hg y tiene como objetivo ofrecer una guía base para identificar y evaluar poblaciones en situación de riesgo por exposición a MeHg vía consumo de peces.

### 5.2.1 Experiencia de Suecia

Según von Rein y Hylander (2000) (144), el pescado siempre ha sido una parte importante de la dieta Sueca (144). Hoy día, debido al contenido de Hg en el pescado, se dan recomendaciones minuciosas sobre el consumo de peces de agua dulce, tales como el lucio, la lucioperca, la lota de río y el anguila. A las mujeres en edad fértil se les recomienda que no coman de ningún modo esos peces de los lagos de Suecia y al resto de la población, que no los coman más de una vez por semana. Se calcula que la deposición de Hg en Suecia debe disminuir un 80% respecto del nivel que tenía a finales del decenio de 1980 a fin de reducir el contenido de Hg en el pescado por debajo de 0,5 mg de Hg/kg de peso húmedo. Las emisiones atmosféricas procedentes de fuentes puntuales situadas en Suecia han disminuido a alrededor de una tonelada métrica por año desde los valores máximos del

decenio de 1960 que ascendían a unas 30 toneladas métricas por año, y las liberaciones al agua se han reducido de modo semejante (156). La mayor parte de la deposición actual de Hg en Suecia se debe al transporte atmosférico a grandes distancias desde otros países (157, 158), lo cual significa que para alcanzar el objetivo del 80% de reducción, las emisiones de Europa y otras partes del hemisferio norte también se deben reducir. Hay indicaciones que recientemente se han logrado reducciones en la deposición y en los últimos decenios se ha observado un descenso general de alrededor de un 20% en las concentraciones de Hg en el pescado de Suecia (10, 159).

### 5.2.2 Experiencia de Finlandia

La acumulación de Hg en el pescado de Finlandia también se ha estudiado durante varios decenios (160). A fines de la década de los sesenta, alrededor del 10-15% de los lagos y aguas litorales de Finlandia contenían altas concentraciones de Hg producidas principalmente por descargas de aguas residuales de la industria de pulpa y papel, y la producción conexas de cloro y álcalis. Desde el abandono en 1968 del uso de compuestos de Hg en fungicidas, en la producción de papel de Finlandia y la disminución de la demanda de cloro en dicha industria, las liberaciones de Hg se han reducido considerablemente.

En 1990, las concentraciones medias de Hg en los lucios de esas aguas habían disminuido a 0,60 mg/kg de peso húmedo. Por su parte, *Louekari et al.* (160), combinaron esos datos con los obtenidos en estudios sobre la dieta y calcularon ingestas diarias estimadas de Hg en diferentes segmentos de la población de consumidores, y la influencia relativa del consumo de lucio y otros pescados. En 1967/68, las ingestas de Hg del segmento de agricultores más dependientes del pescado capturado localmente se estimaron en 22 µg/día en zonas muy contaminadas con ese metal. En 1990 se estimaron ingestas similares de 15 µg de Hg/día. Para empleados, que consumen una menor cantidad de pescado capturado localmente, las ingestas correspondientes eran de 13 y 8 µg de Hg/día (160).

### 5.2.3 Experiencia de Estados Unidos

En Estados Unidos, 41 estados han emitido recomendaciones a los consumidores de pescado debido al Hg presente en cuerpos de agua dulce y 13 estados han emitido recomendaciones para su respectivo estado. El Hg es el contaminante más frecuente asociado a la emisión de recomendaciones a los consumidores de pescado, representando el 79% del total de avisos a los consumidores (161). La US EPA ha presentado un conjunto de recomendaciones generales sobre el consumo de pescado. Por ejemplo, el pescado que contenga concentraciones de Hg de 0,48 a 0,97 mg de MeHg/kg de peso húmedo no se debería comer más de una vez por mes; el que contenga de 0,97 a 1,9 mg/kg de peso húmedo, no más de una vez cada dos meses, y el que contenga más de 1,9 mg/kg de peso húmedo no se debería comer nunca.

### 5.2.4 Experiencia del Ártico

El informe del Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico (AMAP) (57), sobre problemas de contaminación en esa región describe las altas exposiciones que experimentan sus poblaciones. El Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP por sus siglas en inglés) y otras actividades del Consejo del Ártico relativas al Hg cubren toda la región ártica y este metal es una sustancia prioritaria en las evaluaciones y proyectos de reducción de la contaminación. La dieta tradicional de alimentos marinos de Groenlandia y zonas árticas de Canadá tiene cualidades nutricionales muy positivas y no se reemplaza fácilmente con otros alimentos. De acuerdo con las recomendaciones alimentarias del Gobierno de Canadá, los beneficios que la dieta nórdica tradicional de alimentos marinos ofrece para la salud sobrepasan los riesgos conocidos asociados con el consumo de esos alimentos. Sin embargo, es evidente que los riesgos asociados con esa dieta aumentan al elevarse los niveles de contaminación con MeHg.

### 5.2.5 Convenio de Minamata

En el marco de la quinta sesión del Comité Intergubernamental de Negociaciones realizado en Ginebra en el año 2013, en busca de un instrumento jurídicamente vinculante a nivel global para disminuir o

restringir las emisiones del Hg, nace el Convenio de Minamata. Es importante resaltar que Colombia participó activamente durante todo el proceso, el cual buscaba proteger la salud humana y el medio ambiente de las liberaciones antropogénicas del mercurio elemental y del compuesto de mercurio elemental. Los países vinculados tienen la obligación de establecer normas o medidas para la eliminación gradual del Hg en sus procesos productivos; así mismo la restricción tanto de importaciones como de exportaciones. Bajo esta iniciativa en Colombia nace la Ley 1658 del 15 de Julio de 2013, por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de Hg en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación.

### 5.3 Otras medidas

Recientes investigaciones se han enfocado en el rol del Selenio (Se) como elemento que potencialmente puede disminuir la toxicidad del Hg. Es conocido que el MeHg ejerce una toxicidad selectiva sobre las Selenio-enzimas que protegen al cerebro del daño oxidativo; en este sentido, un exceso en la proporción molar del Se sobre el Hg podría disminuir los efectos tóxicos del metal, aunque el nivel de exceso que podría resultar efectivo como protector, es aún desconocido (162). Asimismo, estudios indican que el Se, presente en muchos alimentos, protege contra la exposición al Hg. Además, por la alta afinidad entre ambos, el Se secuestra al Hg y reduce su biodisponibilidad (163). Por consiguiente, la medida de la relación molar Hg-Se, es un importante factor a tener en cuenta cuando se evalúa el riesgo para salud humana por exposición a Hg, debido a que la misma cantidad de Hg que puede hacer daño a un individuo, puede no resultar peligrosa para otro que tiene una dieta rica en selenio.

## 6

### Conclusiones

1. ¿Cuáles son las actividades económicas y sus áreas de impacto, que contribuyen en mayor proporción a la incorporación de Hg en peces de aguas continentales de Colombia?

En conclusión, las actividades económicas asociadas a la emisión de Hg son:

- a. Extracción primaria de metales, especialmente oro y plata,
- b. Producción de productos químicos y la disposición de sus residuos y
- c. Uso y disposición de productos con contenido de mercurio. Siendo las áreas de mayor impacto los ecosistemas acuáticos (lénticos y lóticos), aledaños donde se realizan estas actividades, y los mismos ecosistemas a donde es transportado el mercurio por grandes distancias, bien sea por vía acuática o atmosférica. En este sentido, se han identificado principalmente áreas en el Norte de Colombia, en los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge y Nechí con sus humedales asociados, y cuerpos de aguas de la región de la Mojana, y últimamente se ha encontrado esta problemática en el embalse de Urrá, norte de Colombia.

2. ¿Cuáles son las especies que podrían presentar mayores acumulaciones de mercurio (Hg) y metilmercurio (MeHg), identificadas en el término de referencia 1?

En las siguientes imágenes se presentan las especies con niveles mayores de los aceptados por FAO/OMS solamente para ciertas regiones (La Mojana, Embalse de Urrá, Sur de Bolívar y bajo Cauca) identificadas en estudios realizados en Colombia.



NOMBRE CIENTÍFICO *Pseudoplatystoma fasciatum*

NOMBRE COMÚN Bagre tigre, rayado, pintado



NOMBRE CIENTÍFICO *Caquetaia kraussii*

NOMBRE COMÚN Mojarra amarilla



NOMBRE CIENTÍFICO *Sorubim cuspicaudus*

NOMBRE COMÚN Blanquillo



NOMBRE CIENTÍFICO *Hoplias malabaricus*

NOMBRE COMÚN Moncholo



NOMBRE CIENTÍFICO *Leporinus muyscorum*

NOMBRE COMÚN Liseta



NOMBRE CIENTÍFICO *Plagioscion surinamensis*

NOMBRE COMÚN Pacora, curvinata



NOMBRE CIENTÍFICO *Ageneiosus caucanus*

NOMBRE COMÚN Doncella

Imagen *Caquetaia kraussii* <http://www.fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?ID=46738&AT=mojarra+amarilla>

Imagen *Plagioscion surinamensis* <http://www.fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?ID=12081&AT=pacora>

Otras imágenes proporcionadas por:

Prof. Víctor J. Atencio-García, Centro de Investigación Piscícola (CINPIC), Dpto. de Ciencias Acuícolas/Facultad MVZ Universidad de Córdoba Montería, Córdoba, Col.

3. ¿Cuál es el riesgo asociado al consumo de las especies identificadas en el término de referencia 2?

#### Neurotoxicidad

El MeHg es un agente neurotóxico, que puede provocar efectos adversos particularmente en el cerebro en formación (fetos). El sistema nervioso central en desarrollo es más sensible al MeHg que el del adulto. Los niños de corta edad, que durante la gestación estuvieron expuestos a niveles elevados de esta sustancia, presentan un cuadro clínico similar al de la parálisis cerebral causada por otros factores; caracterizado principalmente por microcefalia, hiperreflexia, discapacidad mental y trastornos de la función motora gruesa, con alguna asociación a ceguera o sordera. En los casos leves, los efectos pueden aparecer más tarde en el desarrollo en forma de discapacidad psicomotora y mental y reflejos patológicos persistentes.

#### Cardiopatías

Algunos estudios indican que pequeños aumentos en la exposición a MeHg pueden causar efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular y un incremento en la tasa de mortalidad.

#### Enfermedad de Minamata

Las alteraciones neurológicas, malformaciones y alteraciones teratogénicas ocasionadas por el Hg, se conocen como la Enfermedad de Minamata.

#### Sintomatología en adultos

En adultos, los efectos iniciales son síntomas no específicos, tales como parestesia, malestar y visión borrosa; con mayor exposición, aparecen signos como constricción concéntrica del campo visual, sordera, disartria, ataxia y, por último, coma y muerte.

#### Genotoxicidad

Diversos trabajos de investigación hechos con animales prueban su genotoxicidad y efectos en el sistema inmune y el aparato reproductor. En resumen son reportados los siguientes efectos patológicos por el consumo de Hg y MeHg en pescado:

- Teratogénesis y carcinogénesis
- Genotoxicidad (células linfocitarias)
- Inmunotoxicidad
- Resistencia a insulina/diabetes mellitus tipo II
- Aumento de susceptibilidad a enfermedad cardiovascular
- Alteraciones en niveles hormonales
- Anormalidades en morfología y motilidad de los espermatozoides
- Dimorfismo sexual
- Pérdidas del campo visual
- Daño de células receptoras de la visión
- Genotoxicidad (neuroblastomas y glioblastomas)
- Alteraciones neuropsicológicas y cognoscitivas
- Neurotoxicidad y apoptosis
- Neurotoxicidad (Excitotoxicidad y estrés oxidativo, autismo)
- Alteración en síntesis del grupo hemo

- Citotoxicidad
  - Pérdida de piezas dentales
  - Cefaleas e insomnio
  - Pérdida de memoria
4. ¿Cuáles son las medidas de prevención para minimizar la exposición por consumo de pescado con Hg y con MeHg y las posibles estrategias de intervención?
- a. Establecer medidas de restricción para evitar el consumo de especies con elevados niveles de mercurio.
  - b. Determinar niveles de consumo (día, semana, mes) de pescado en las zonas de alto riesgo.
  - c. Establecer el consumo de selenio en alimentos fortificados en las zonas reconocidas como de alto riesgo.
  - d. Disponer de metodologías analíticas validadas para soportar los procesos de seguimiento y monitoreo en matrices ambientales y alimentarias y en fluidos biológicos, y/o biomarcadores de exposición.
  - e. Vigilar por el cumplimiento de las políticas públicas establecidas para el control estricto del uso de mercurio en diferentes actividades que conlleven a su disposición sobre matrices ambientales y alimentarias.
  - f. Se hace necesario un estudio de línea base oficial del estado actual de niveles de mercurio en peces presentes en las diferentes cuencas hidrográficas del país.
  - g. Formular un programa de educación ambiental para orientar a la población expuesta sobre los riesgos asociados a la manipulación del mercurio y al consumo de alimentos contaminados con el mismo.

# 7

## Recomendaciones

Desarrollar estrategias de comunicación para la obtención de capacidades tendientes a la identificación de signos y síntomas de intoxicaciones mercuriales; mediante programas educativos a profesionales de la salud y a la población en general.

Actualizar el Modelo geoestadístico de distribución espacial de concentraciones de metales tóxicos (Hg, Pb, Cd, As, Zn, Ni, Mn, entre otros), en Colombia. Este modelo da una indicación del riesgo de estos metales en la salud pública.

El Sivigila deberá generar la información al respecto de las intoxicaciones por Hg debido al consumo de alimentos y a su vez, el Ministerio de Salud y Protección Social deberá fomentar el desarrollo de estudios epidemiológicos (que involucren metodologías como: cromátidas hermanas, polimorfos nucleares, ensayo cometa y test de ames, entre otros), mediante la toma de muestras de agua y sedimento en sitios donde hay actividades de minería y en embalses para la obtención de información para realizar los modelos de dispersión y del programa de vigilancia. Implementar un modelo para el Sivigila en el que se haga captura adecuada de los casos de intoxicación crónica, como es frecuente que ocurra en el caso de los metales pesados, esto favorecido con el diagnóstico y seguimiento de un laboratorio en salud pública con más capacidad técnica.

El Sistema de Información Nacional Ambiental (SINA) deberá recopilar, organizar, analizar y presentar la información referente a contaminación por Hg y sus formas orgánicas.

Establecer un programa de vigilancia para la determinación de la concentración de Hg y MeHg en biomarcadores de exposición humana (tejidos y fluidos

biológicos), así como también en agua de consumo y alimentos, en el marco de los requerimientos de la Ley 1658 de 2013.

Establecer programas de monitoreo, determinación de niveles de MeHg en carne de pescado proveniente de la acuicultura.

El gestor de riesgo deberá establecer recomendaciones de consumo (con otras fuentes de proteína), mediante estrategias de comunicación de riesgo, de acuerdo con la información recopilada en esta evaluación y la que se genere a través de los procesos investigativos nacionales e internacionales. Lo anterior, dirigido a grupo riesgo (niños y mujeres embarazadas).

Implementar programas de intercalibración en pruebas de determinación de Hg y MeHg, a través del trabajo conjunto entre el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Organismo Nacional de Acreditación (ONAC), Instituto Nacional de Salud (INS), Red Nacional de Laboratorios, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) y el Instituto Nacional de Metrología. Implementar una red de monitoreo de concentraciones de Hg en matrices ambientales (agua, suelo y aire) y alimentarias (arroz, hortalizas, frutas, lácteos y productos cárnicos, entre otras).

Realizar monitoreo a la implementación y cumplimiento del manejo integral de residuos peligrosos de las actividades asociadas a la minería y a otras actividades que utilicen Hg en su cadena productiva. Esta actividad deberá ser acompañada por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, el Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corporaciones Autónomas Regionales, entre otras.

Fomentar por parte de Colciencias la financiación de proyectos de investigación orientados a la generación de nuevos materiales y de productos sustitutos del Hg en las diferentes actividades industriales que dependen de éste.

Desarrollar programas para el levantamiento de la calidad ambiental (concentraciones de Hg, entre otros) del recurso hídrico y del uso del suelo

destinado a la producción limpia en el sector acuícola. Lo anterior debe ser ejecutado a través de las Corporaciones Autónomas Regionales.

Fortalecimiento por parte del INVIMA, de las estrategias de muestreo y valoración de niveles de Hg en pescados, recursos hidrobiológicos y sus derivados procedentes del mercado internacional.

Desarrollar evaluaciones o perfiles de riesgo de Hg y MeHg en otras matrices alimenticias como el huevo, productos lácteos y cárnicos.

# 8

## Vacíos de información

Falta información en cuanto a concentraciones de Hg y de MeHg en matrices ambientales, alimentarias y en salud pública en zonas diferentes al Caribe colombiano.

Ausencia de información actualizada al respecto de hábitos y frecuencia de consumo de alimentos por regiones. Falta de información relacionada con el consumo de pescado en mujeres embarazadas y niños, discriminando la especie.

# 9

## Glosario

**Agente neurotóxico:** interfiere en la transmisión de los impulsos nerviosos, es letal cuando afecta los movimientos involuntarios, como la respiración.

**Aguas lénticas:** también llamadas aguas estancadas, comprenden todas las aguas interiores que no presentan corriente continua. A este grupo pertenecen los lagos, lagunas, charcas y pantanos. Se presenta una estratificación del oxígeno y de la temperatura. Además hay luz diferencial en los distintos estratos, presentándose entonces una serie de zonas o capas, generalmente 3 (zona litoral, limnética y profunda), con distintas características y organismos.

**Aguas lólicas:** también llamadas corrientes, incluyen todas las masas de agua que se mueven continuamente en una misma dirección. Existe por consiguiente un movimiento definido y de avance irreversible. Este sistema comprende: los manantiales, barrancos, riachuelos y ríos.

**Amalgamación:** son todas aquellas aleaciones de metales con Hg.

**Apoptosis:** la apoptosis o muerte celular programada es el proceso ordenado por el que la célula muere ante estímulos extra o intracelulares. La apoptosis es fundamental en el desarrollo de órganos y sistemas, en el mantenimiento de la homeostasis del número de células y en la defensa frente a patógenos. Es un proceso finamente regulado que cuando se altera produce graves patologías como malformaciones, defectos en el desarrollo, enfermedades autoinmunes, enfermedades neurodegenerativas o aparición de tumores.

**Autismo:** es un espectro de trastornos caracterizados por graves déficit del desarrollo, permanente y profundo. Afecta la socialización, la comunicación, la imaginación, la planificación y la reciprocidad emocional, y evidencia conductas repetitivas o inusuales. Los síntomas, en general, son la incapacidad

de interacción social, el aislamiento y las estereotipias (movimientos incontrolados de alguna extremidad, generalmente las manos).

**Ataxia:** trastorno caracterizado por la disminución de la capacidad de coordinar los movimientos musculares voluntarios.

**Citotoxicidad:** daño celular provocado por la acción de anticuerpos específicos o por células citotóxicas. Constituye una de las más importantes respuestas efectoras inmunitarias para la defensa contra los agentes infecciosos.

**Contaminación química:** es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente totalmente ajeno a ese medio (contaminante), causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo.

**Contaminante:** sustancia que se encuentra en un medio al cual no pertenece o que lo hace a niveles que pueden causar efectos (adversos) para la salud o el medio ambiente.

**Copépodo:** subclase de crustáceos que se caracterizan por ser agentes microscópicos, de vida libre en medio acuático y forman parte del plancton.

**Diatomeas marinas:** las diatomeas son una clase de Algas unicelulares microscópicas. Conocidas también como *Bacillariophyceae*, son uno de los más comunes tipos de fitoplancton. Muchas diatomeas son unicelulares, aunque algunas de ellas pueden existir como colonias en forma de filamentos o cintas (e.g. *Fragillaria*), abanicos (e.g. *Meridion*), zigzags (e.g. *Tabellaria*) o colonias estrelladas (e.g. *Asterionella*). Las diatomeas son productores dentro de la cadena alimenticia. Una característica especial de este tipo de algas es que se hallan rodeadas por una pared celular única hecha de sílice (dióxido de silicio hidratado) llamada frústula. Estas frústulas muestran una amplia variedad en su forma, pero generalmente consisten en dos partes asimétricas con una división entre ellas, se debe a esta característica el nombre del grupo. Las comunidades de diatomeas son una herramienta recurrentemente usada para la vigilancia de las condiciones medioambientales, pasadas y presentes, son también usadas para el estudio de la calidad del agua.

**Ecosistemas acuáticos:** son una comunidad de organismos que viven e interactúan dentro de un entorno, en este caso el agua, donde todos los animales y plantas viven. El escenario específico y el tipo de agua, como un lago de agua dulce o un saladar, determinan qué tipo de plantas y animales vivirán allí.

**Eslora:** la eslora es la dimensión de un barco tomada a su largo, desde la proa hasta la popa.

**Especie íctica:** "fauna íctica" hace referencia a los peces presentes en un lugar.

**Especie iliófaga:** son peces que ingieren microorganismos producidos por la descomposición de la materia, o también se alimentan de los desperdicios, o heces, de otros animales. Entre estos peces se encuentran, el sábalo.

**Especies ornamentales:** en el caso de los peces son especies destinadas a satisfacer necesidades de afecto y dominio en el hombre como cualquier otra mascota, la gran mayoría corresponde a especies pequeñas y de razas no comunes, los peces ornamentales proceden del hábitat natural o de criaderos donde se realiza su reproducción.

**Estrés oxidativo:** es un estado de la célula en la cual se encuentra alterada la homeostasis óxido-reducción intracelular, es decir el balance entre prooxidantes y antioxidantes. Este desbalance se produce a causa de una excesiva producción de especies reactivas de oxígeno (EROs) y/o por deficiencia en los mecanismos antioxidantes, conduciendo a daño celular.

**Excitotoxicidad:** es el proceso patológico por el cual las neuronas son dañadas y destruidas por las sobreactivaciones de receptores del neurotransmisor excitatorio glutamato, como el receptor NMDA y el receptor AMPA.

**Forma metilada:** la metilación es la adición de un grupo metilo (-CH<sub>3</sub>) a una molécula.

**Fuentes antropogénicas:** efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana. Normalmente se usa para describir contaminaciones

ambientales en forma de desechos químicos o biológicos como consecuencia de las actividades económicas, tales como la producción de dióxido de carbono por consumo de combustibles fósiles. Las fuentes antropogénicas incluyen industria, agricultura, minería, transporte, construcción, urbanización y deforestación.

**Genotoxicidad:** capacidad de algunos elementos (físicos, químicos o biológicos) de producir alteración en el material genético por cambios en el ADN o en las estructuras intracelulares vinculadas al funcionamiento o propiedades de los cromosomas.

**Ingesta diaria:** estimación de la cantidad de una sustancia presente en un alimento y/o en el agua potable, expresada en función del peso corporal, que puede ser ingerida diariamente durante toda la vida sin que se aprecie un riesgo sobre la salud del consumidor y teniendo en cuenta el nivel de conocimiento en el momento de la evaluación. Generalmente, se expresa en miligramos de sustancia por kilogramo de peso corporal.

**Ingesta Semanal Tolerable Provisional (PTWI):** es el resultado toxicológico utilizado para los contaminantes de los alimentos, como los metales pesados, que tienen propiedades acumulativas. Su valor representa la exposición humana semanal permisible a esos contaminantes, asociados de manera inevitable con el consumo de alimentos por lo demás sanos y nutritivos.

**Ingesta Semanal:** representa la cantidad de alimentos o agua potable que es ingerida semanalmente.

**Inmunotoxicidad:** efecto tóxico en el sistema de defensa inmunológico.

**Intoxicación mercurial:** las primeras descripciones de los efectos tóxicos de sus vapores como riesgo laboral fueron descritos por Ellenberg en Von der Grifftigen Bensen Terupffen von Reiiichen der metal (1473); la investigación actual en salud ha establecido los límites de toxicidad del Hg entre 50 y 160  $\mu\text{g}/\text{día}$ . El ingreso del Hg al organismo ocurre por las vías respiratoria, mediante inhalación y alcanza la sangre con una eficiencia del 80%, por vía digestiva ocurre por ingestión y por vía cutánea ocurre por contacto. Se estima que el contenido normal de Hg en el organismo humano oscila entre

1 y 13 miligramos, del cual 10% es MeHg. Su distribución en el organismo es: músculo 44 a 54%, hígado 22%, riñón 9%, sangre 9 a 15%, piel 8%, cerebro 4 a 7% e intestino 3%.

**Ingesta Diaria Tolerable Provisional (PTDI):** es un valor basado en datos toxicológicos que representa la ingestión tolerable para los humanos de una sustancia contaminante de los alimentos, el agua potable o el medio ambiente.

**Intoxicación:** trastorno provocado por una sustancia tóxica, envenenamiento.

**MeHg:** es un tipo de Hg que produce daños en el sistema nervioso central (el cerebro y la médula espinal) y la gravedad de dicho daño depende de la cantidad de tóxico que recibe el cuerpo. Muchos de los síntomas de la intoxicación con Hg son similares a los observados en una parálisis cerebral. De hecho, se cree que el MeHg es la causa de una forma de parálisis cerebral.

**Neurotoxicidad:** capacidad de inducir efectos adversos en el sistema nervioso central, los nervios periféricos o los órganos de los sentidos. Se considera que un producto químico es neurotóxico cuando es capaz de inducir un patrón constante de disfunción neural o cambios en la química o la estructura del sistema nervioso.

**Pescado azul:** el concepto de pescado azul o pescado graso, se refiere a la proporción de grasa inserta entre los músculos del pescado. La denominación azul no atiende a criterios biológicos, sino nutricionales. El pescado azul o graso es un grupo de pescados que contiene más de un 5% de grasa, la cantidad de grasa influye en la coloración, así que gran parte de los pescados grasos tienen coloración externa azul, de ahí su nombre. El pescado azul es un alimento protector cardiovascular y buen regulador de la tensión arterial, debido a su composición de ácidos grasos poliinsaturados (omega-3, etc.), que hacen disminuir el colesterol "malo" en la sangre.

**Precursores químicos:** sustancias indispensables o necesarias para producir otra mediante una reacción química. Son los compuestos químicos que constituyen una primera etapa en un proceso y que actúan como sustrato en las etapas posteriores.

**Procesos biogeoquímicos:** proceso natural mediante el cual se reciclan los elementos químicos una y otra vez entre los organismos y el ambiente. Bío se refiere a los organismos; geo a las rocas, suelo, aire y al agua del planeta; y químico a las reacciones que se realizan permitiendo el paso de un lugar a otro. Existen dos tipos de ciclos biogeoquímicos: los gaseosos y los sedimentarios. Los gaseosos tienen su depósito principal en la atmósfera, entre ellos el carbono y el nitrógeno. Los sedimentarios tienen su depósito principal en la corteza terrestre, por ejemplo el fósforo, calcio, potasio, o azufre.

**Salud pública:** es la responsabilidad estatal y ciudadana de protección de la salud como un derecho esencial, individual, colectivo y comunitario logrado en función de las condiciones de bienestar y calidad de vida.

**Sedimento:** materia que tras haber estado suspenda en un líquido se posa en el fondo del recipiente que la contiene.

**Sistema hematológico:** el sistema hematológico es un sistema de transporte, está compuesto por: la sangre, vasos sanguíneos, órganos que trabajan con la sangre (medula ósea, hígado y vasos linfáticos). Su función principal es llevar los materiales necesarios (oxígeno y nutrientes) a las células e intercambiarlos por el dióxido de carbono y toxinas presentes. También el mismo funciona como transporte hormonal, ayuda a la regulación de la temperatura, a mantener el balance del líquido-electrolito, y balance de los ácidos-base.

**Sistema pelágico:** está constituido por plancton, unidad básica de materia inorgánica en los ecosistemas acuáticos, está conformado por organismos diminutos, generalmente microscópicos que se encuentran suspendidos en el agua, el sistema pelágico también incluye fitoplancton que acumula energía lumínica solar generando oxígeno (fotosíntesis), que representa parte sustancial del que utilizan los organismos acuáticos para su respiración, Zooplancton que está compuesto por especies de tamaño pequeño con capacidad de movimiento comprende protozoarios, crustáceos, pueden ser herbívoros o carnívoros. También forman parte del sistema los mamíferos acuáticos.

# 10

## Abreviaturas, siglas y acrónimos

BMD	Benchmark Dose / Dosis de referencia
CCI	Corporación Colombia Internacional
ENA	Encuesta Nacional de Acuicultura
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
ENSIN	Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
INCODER	Instituto Colombiano de Desarrollo Rural
INVIMA	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos
JECFA	Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios
NRC	National Research Council
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PTDI	Ingesta Diaria Provisional Tolerable
PTWI	Ingesta Semanal Provisional Tolerable
Ref.	Referencia bibliográfica
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

# 11 Bibliografía

1. Hightower J. *Diagnosis Mercury: Money, Politics, and Poison* 2009. 307 p.
2. Salvato J, Nemerow N, Agardy F. Noninfectious and noncommunicable diseases, mercury poisoning. In: Sons JW, editor. *Environmental Engineering*. United States of America 2003. p. 1584.
3. Mancera-Rodríguez NJ, Álvarez-León R. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 2006;11:3-23.
4. Verbel JO, Restrepo BJ. El lado gris de la minería del oro: la contaminación con mercurio en el Norte de Colombia. Colombia: Universidad de Cartagena; 2002. 123 p.
5. Pinheiro MCN, Müller RCS, Sarkis JE, Vieira JLF, Oikawa T, Gomes MSV, et al. Mercury and selenium concentrations in hair samples of women in fertile age from Amazon riverside communities. *Science of The Total Environment*. 2005;349(1-3):284-8.
6. Knobeloch L, Steenport D, Schrank C, Anderson H. Methylmercury exposure in Wisconsin: A case study series. *Environmental Research*. 2006;101(1):113-22.
7. Canuel R, Lucotte M, Grosbois SBd. Mercury cycling and human health concerns in remote ecosystems in the Americas SAPIENS [Internet]. 2009 12 June 2013. Available from: <http://sapiens.revues.org/766#sthash.c4OGLfu6.dpuf>.
8. PNUMA. *Evaluación Mundial Sobre El Mercurio*. Ginebra, Suiza: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; 2002. Available from: <http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA%20in%20F%20and%20S/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf>.

9. Marrugo-Negrete J, Benitez L, Olivero-Verbel J. Distribution of Mercury in Several Environmental Compartments in an Aquatic Ecosystem Impacted by Gold Mining in Northern Colombia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2008;55(2):305-16.
10. Veiga M. Antioquia, Colombia: the world's most polluted place by mercury: impressions from two field trips Report to UNIDO – United Nations Industrial Development Organization 2010.
11. Fitzgerald WF, Clarkson TW. Mercury and monomethylmercury: present and future concerns. *Environmental Health Perspectives*. 2006;96(1):159–66.
12. US-EPA. Human Exposure. Washington, D.C: U.S. Environmental Protection Agency; 2012 [cited 2012 07 de Julio de 2012]; Available from: <http://www.epa.gov/hg/exposure.htm>.
13. Manzur F, Suárez A, Moneriz C. Efectos y controversias de los ácidos grasos omega-3: effects and controversies. *Revista Colombiana de Cardiología*. 2006;13:180-4.
14. EFSA. Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal* 2012;10(12):2985 [241 pp.].
15. Porvari P. Development of fish mercury concentrations in Finnish reservoirs from 1979 to 1994. *Science of The Total Environment*. 1998;213(1–3):279-90.
16. St.Louis VL, Rudd JWM, Kelly CA, Bodaly RA, Paterson MJ, Beaty kg, et al. The Rise and Fall of Mercury Methylation in an Experimental Reservoir†. *Environmental Science & Technology*. 2004;38(5):1348-58.
17. Tuomola L, Niklasson T, de Castro E Silva E, Hylander LD. Fish mercury development in relation to abiotic characteristics and carbon sources in a six-year-old, Brazilian reservoir. *The Science of the total environment*. 2008;390(1):177-87.
18. Morel FMM, Kraepiel AML, Amyot M. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1998;29(1):543-66.
19. Fitzgerald WF, Clarkson TW. Mercury and Monomethylmercury: Present and Future Concerns. *Environmental Health Perspectives*. 1991;96(ArticleType: research-article / Full publication date: Dec., 1991 / Copyright © 1991 The National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS)):159-66.
20. Ramírez AV. Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de la Facultad de Medicina*. 2008;69(1):46-51.
21. EPA. Mercury Study Report to Congress. Chicago: Environmental Protection Agency; 1997. p. 171.
22. Selin NE. Global Biogeochemical Cycling of Mercury: A Review. *Annual Review of Environment and Resources*. 2009;34(1):43-63.
23. Engstrom DR. Fish respond when the mercury rises. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007;104(42):16394-5.
24. Gilmour C, Riedel GS, Ederington MC, Bell JT, Gill GA, Stordal MC. Methylmercury concentrations and production rates across a trophic gradient in the northern Everglades. *Biogeochemistry*. 1998;40(2-3):327-45.
25. Benoit JM, Gilmour CC, Heyes A, Mason RP, Miller CL. Geochemical and Biological Controls over Methylmercury Production and Degradation in Aquatic Ecosystems. *Biogeochemistry of Environmentally Important Trace Elements: American Chemical Society*; 2002. p. 262-97.
26. Kerin EJ, Gilmour CC, Roden E, Suzuki MT, Coates JD, Mason RP. Mercury methylation by dissimilatory iron-reducing bacteria. *Applied and environmental microbiology*. 2006;72(12):7919-21.
27. Munthe J, Bodaly RA, Branfireun BA, Driscoll CT, Gilmour CC, Harris R, et al. Recovery of mercury-contaminated fisheries. *Ambio*. 2007;36(1):33-44.
28. Porvari P, ympäristökeskus S. Sources and Fate of Mercury in Aquatic Ecosystems: Finnish Environment Institute; 2003.
29. Kim E-H, Mason RP, Porter ET, Soulen HL. The impact of resuspension on sediment mercury dynamics, and methylmercury production and fate: A mesocosm study. *Marine Chemistry*. 2006;102(3–4):300-15.
30. Wu H, Ding Z, Liu Y, Liu J, Yan H, Pan J, et al. Methylmercury and sulfate-reducing bacteria in mangrove sediments from Jiulong River Estuary, China. *Journal of Environmental Sciences*. 2011;23(1):14-21.
31. Simonin HA, Loukmas JJ, Skinner LC, Roy KM. Lake variability: Key factors controlling mercury concentrations in New York State fish. *Environmental Pollution*. 2008;154(1):107-15.
32. Richardson GM, Wilson R, Allard D, Purtill C, Douma S, Gravière J. Mercury exposure and risks from dental amalgam in the US population, post-2000. *Science of The Total Environment*. 2011;409(20):4257-68.

33. Clarkson TW. The Three Modern Faces of Mercury. *Environmental Health Perspectives*. 2002;110(1):11-23.
34. Olivero J, Mendonza C, Mestre J. Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia. *Revista de Saúde Pública*. 1995;29:376-9.
35. Martínez XG. El mercurio como contaminante global Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente: Universitat Autònoma de Barcelona.; 2004.
36. UNEP. Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases. United Nations Environment Programme 2012 [cited 2012 09 de Septiembre de 2012].
37. Marrugo-Negrete J, Verbel J, Ceballos E, Benitez L. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. *Environ Geochem Health*. 2008;30(1):21-30.
38. GDCON. Cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia, Cálculos y cuantificaciones para el año 2009. Medellín, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia y la Universidad de Antioquia; 2010. p. 81.
39. IICA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Agenda Nacional de Investigación en Pesca y Acuicultura. Bogotá, Colombia. 143 p. 2012.
40. CCI. Corporación Colombia Internacional, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Boletín Estadístico Pesquero y Acuícola 2010, Bogotá, Colombia. 2010.
41. Carlos A. Lasso, Francisco de Paula Gutiérrez, Mónica A. Morales Betancourt, Edwin Agudelo Córdoba, y HRG, Martínez REA. II. PESQUERÍAS CONTINENTALES DE COLOMBIA: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico. Bogotá: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; 2011.
42. CCI. Corporación Colombia Internacional, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Boletín Trimestral 60. Sistema de Información de Pesca y Acuicultura. Abril – Junio 2011. 2011.
43. ENA. AGENDA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN PESCA Y ACUICULTURA: Encuesta Nacional de Acuicultura; 2011-2012.
44. FAO-INCODER. Diagnóstico del Estado de la Acuicultura en Colombia. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural INCODER; 2011.
45. Olivero J, Johnson B. El lado gris de la minería del oro: la contaminación con mercurio en el Norte de Colombia: Universidad de Cartagena; 2002.
46. Olivero-Verbel J, Johnson-Restrepo B, Mendoza-Marín C, Paz-Martinez R, Olivero-Verbel R. Mercury in the Aquatic Environment of the Village of Caimito at the Mojana Region, North of Colombia. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2004;159(1):409-20.
47. Marrugo J, Lans E, Benítez L. Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*. 2007;12:878-86.
48. Marrugo-Negrete J, Benítez LN, Olivero-Verbel J, Lans E, Gutierrez FV. Spatial and seasonal mercury distribution in the Ayapel Marsh, Mojana region, Colombia. *International Journal of Environmental Health Research*. 2010;20(6):451-9.
49. Ramírez J. Recuperación de mercurio a partir de efluentes sólidos de amalgamación y cianuración en el nordeste antioqueño [Tesis de grado]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia; 2005.
50. Ruiz Guzmán JA. Concentraciones de mercurio en peces del embalse Urra y el riesgo potencial para la salud humana [ Tesis de maestría]. Montería, Colombia.: Universidad de Córdoba; 2012.
51. Carlos E. La exposición a mercurio metálico. Bogotá: Biosalud – Revista de Ciencias Básicas; 2010 [cited 2010 17 de Oct]; Available from: [http://biosalud.ucaldas.edu.co/downloads/Revista%201\\_5.pdf](http://biosalud.ucaldas.edu.co/downloads/Revista%201_5.pdf).
52. Mata L, Sánchez L, Calvo M. Mercurio en leche 2003.
53. PNRQ. (Programa Nacional de Riesgos Químicos). Mercurio: cartilla informativa. Programa Nacional de Riesgos Químicos, departamento de salud ambiental, dirección nacional de determinantes de la salud e investigación, ministerio de salud nacional, Buenos Aires, Argentina. 2008 [cited 2012 Nov 26].
54. Schober Se STHJRL, et al. Blood mercury levels in us children and women of childbearing age, 1999-2000. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*. 2003;289(13):1667-74.
55. CDC. Blood and hair mercury levels in young children and women of childbearing age - United States, 1999. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2001 [cited 2012 Nov 26]; Available from: <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5008a2.htm>.

56. Hansen JC. Human exposure to metal through consumption of marine foods: A case study of exceptionally high intake among Greenlanders. *Heavy metals in the marine environment*. Florida 1990. p. 227-43.
57. AMAP. Assessment report: Arctic Pollution Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme. Oslo 1998.
58. NRC. National Research Council: Toxicological Effects of Methylmercury. Washington, DC: National Academy Press; 2000.
59. Hansen JC, Pedersen HS. Environmental exposure to heavy metals in North Greenland. *Arctic medical research*. 1986;41:21-34.
60. Feng Q, Suzuki Y, Hisashige A. Hair Mercury Levels of Residents in China, Indonesia, and Japan. *Archives of Environmental Health: An International Journal*. 1998;53(1):36-43.
61. Suzuki T, Imura N, Clarkson TW. *Advances in Mercury Toxicology*: Springer; 1992.
62. Malm O, Guimarães JD. Biomonitoring Environmental Contamination with Metallic and Methylmercury in Amazon Gold Mining Areas, Brazil. In: Azcue J, editor. *Environmental Impacts of Mining Activities*: Springer Berlin Heidelberg; 1999. p. 41-54.
63. Crespo-López ME, Macêdo GL, Pereira SID, Arrifano GPF, Picanço-Diniz DLW, Nascimento JLMd, et al. Mercury and human genotoxicity: Critical considerations and possible molecular mechanisms. *Pharmacological Research*. 2009;60(4):212-20.
64. Vasconcellos MBA, Paletti G., Catharino, M.G.M., Saiki, M., Fávaro, D.I.T., Baruzzi, R.G., Rodrigues, D.A., Byrne, A.R. and Forti, M.C. Studies on mercury exposure of some Brazilian populational groups living in the Amazonian region by means of hair analysis. 1998 [cited 2012 Nov 26]; Available from: <http://www.chem.unep.ch/mercury/2001-gov-sub/sub68govatt1.pdf>.
65. Fréry N, Jouan, M., Maillot, E. and Deheeger M. Exposition au mercure de la population amérindienne Wayana de Guyane. *INVS (Institut de Veille Sanitaire)*, June 1999. 1999 [cited 2012 Nov 26]; Available from: <http://www.invs.sante.fr/publications/mercure/>.
66. SIVIGILA, Muñoz Guerrero MN, Dominguez Majin LJ. Vigilancia epidemiológica de la Intoxicación con Mercurio Colombia, 2007 a 2011. *Informe Quincenal Epidemiológico Nacional IQEN*. 2013;18(4):42-56.
67. Olivero-Verbel J, Caballero-Gallardo K, Negrete-Marrugo J. Relationship Between Localization of Gold Mining Areas and Hair Mercury Levels in People from Bolívar, North of Colombia. *Biol Trace Elem Res*. 2011;144(1-3):118-32.
68. Gracia H L, Marrugo N JL, Alvis R EM. Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 2010;28:118-24.
69. Auger N, Kofman O, Kosatsky T, Armstrong B. Low-Level Methylmercury Exposure as a Risk Factor for Neurologic Abnormalities in Adults. *Neurotoxicology*. 2005;26(2):149-57.
70. Olivero-Verbel J, Johnson-Restrepo B, Baldiris-Avila R, Güette-Fernández J, Magallanes-Carreazo E, Vanegas-Ramírez L, et al. Human and crab exposure to mercury in the Caribbean coastal shoreline of Colombia: Impact from an abandoned chlor-alkali plant. *Environment International*. 2008;34(4):476-82.
71. US-EPA. Methods 245.1, 245.5 and 245.6 for determination of mercury in water and tissues. Cincinnati, Ohio.: U.S. Environmental protection Agency; 1994.
72. Sadiq M, Zaidi TH, Al-Mohana H. Sample weight and digestion temperature as critical factors in mercury determination in fish. *Bull Environ Contam Toxicol*. 1991;47(3):335-41.
73. Agah H, Leermakers M, Gao Y, Fatemi SMR, Katal MM, Baeyens W, et al. Mercury accumulation in fish species from the Persian Gulf and in human hair from fishermen. *Environ Monit Assess*. 2010;169(1-4):203-16.
74. Magos L, Clarkson TW. Atomic absorption determination of total, inorganic and organic mercury in blood. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*. 1972;55(1):966-71.
75. Diez S, Montuori P, Querol X, Bayona JM. Total Mercury in the Hair of Children by Combustion Atomic Absorption Spectrometry (Comb-AAS). *Journal of Analytical Toxicology*. 2007;31(3):144-9.
76. Cizdziel JV, Gerstenberger S. Determination of total mercury in human hair and animal fur by combustion atomic absorption spectrometry. *Talanta*. 2004;64(4):918-21.
77. AOAC. Method 977.15. Mercury in fish, Alternative Flameless Atomic Absorption Spectrophotometric Method. *AOAC Official Method*. 1978.
78. Chiavarini S, Cremisini C, Ingrao G, Morabito R. Determination of methylmercury in human hair by capillary GC with electron capture detection. *Applied Organometallic Chemistry*. 1994;8(7-8):563-70.
79. Hight SC, Cheng J. Determination of methylmercury and estimation of total mercury in seafood using high performance liquid

- chromatography (HPLC) and inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS): Method development and validation. *Analytica Chimica Acta*. 2006;567(2):160-72.
80. Sarmani SB, Hassan RB, Abdullah MP, Hamzah A. Determination of mercury and methylmercury in hair samples by neutron activation. *J Radioanal Nucl Chem*. 1997;216(1):25-7.
  81. Korolczuk M, Rutyna I. New methodology for anodic stripping voltammetric determination of methylmercury. *Electrochemistry Communications*. 2008;10(7):1024-6.
  82. Metrohm. Determination of mercury at the rotating gold electrode by anodic stripping voltammetry. In: Metrohm, editor. *Application Bulletin 96/5 e*.
  83. AOAC. Official Method 983.20 Mercury (Methyl) in Fish and Shellfish Gas Chromatographic Journal of AOAC International. 1988.
  84. PNUMA/FAO/OIEA. Determinación de MeHg en organismos marinos seleccionados, por cromatografía de gases. Métodos de referencia para Estudios de Contaminación Marina No 13. Monaco 1987. p. 12.
  85. Johnston JJ, Snow JL. Population-Based Fish Consumption Survey and Probabilistic Methylmercury Risk Assessment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2007;13(6):1214-27.
  86. Spada L, Annicchiarico C, Cardellicchio N, Giandomenico S, Di Leo A. Mercury and methylmercury concentrations in Mediterranean seafood and surface sediments, intake evaluation and risk for consumers. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2012;215(3):418-26.
  87. Smith JC, Farris FF. Methyl Mercury Pharmacokinetics in Man: A Reevaluation. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 1996;137(2):245-52.
  88. Shenker BJ, Guo TL, Shapiro IM. Low-Level Methylmercury Exposure Causes Human T-Cells to Undergo Apoptosis: Evidence of Mitochondrial Dysfunction. *Environmental Research*. 1998;77(2):149-59.
  89. Satoh H. Occupational and Environmental Toxicology of Mercury and Its Compounds. *INDUSTRIAL HEALTH*. 2000;38(2):153-64.
  90. Tarras-Wahlberg NH, Flachier A, Lane SN, Sangfors O. Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: the Puyango River basin, southern Ecuador. *Science of The Total Environment*. 2001;278(1-3):239-61.
  91. Walker CH. Principles of Ecotoxicology: C.H. Walker...[et Al.]. Taylor & Francis Group; 2006. p. 231.
  92. Falandysz J. Mercury in mushrooms and soil of the Tarnobrzaska Plain, South-Eastern Poland. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 2002;37(3):343-52.
  93. Pereira P, Pablo Hd, Vale C, Pacheco M. Combined use of environmental data and biomarkers in fish (*Liza aurata*) inhabiting a eutrophic and metal-contaminated coastal system – Gills reflect environmental contamination. *Marine Environmental Research*. 2010;69(2):53-62.
  94. Hall BD, St. Louis VL. Methylmercury and Total Mercury in Plant Litter Decomposing in Upland Forests and Flooded Landscapes. *Environmental Science & Technology*. 2004;38(19):5010-21.
  95. Wasserman JC, Hacon S, Wasserman MA. Biogeochemistry of Mercury in the Amazonian Environment. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2003;32(5):336-42.
  96. Simoneau M, Lucotte M, Garceau S, Laliberté D. Fish growth rates modulate mercury concentrations in walleye (*Sander vitreus*) from eastern Canadian lakes. *Environmental Research*. 2005;98(1):73-82.
  97. Evans MS, Lockhart WL, Doetzel L, Low G, Muir D, Kidd K, et al. Elevated mercury concentrations in fish in lakes in the Mackenzie River Basin: The role of physical, chemical, and biological factors. *Science of The Total Environment*. 2005;351-352(0):479-500.
  98. Sampaio da Silva D, Lucotte M, Paquet S, Davidson R. Influence of ecological factors and of land use on mercury levels in fish in the Tapajós River basin, Amazon. *Environmental Research*. 2009;109(4):432-46.
  99. Kasper D, Palermo EFA, Dias ACMI, Ferreira GL, Leitão RP, Branco CWC, et al. Mercury distribution in different tissues and trophic levels of fish from a tropical reservoir, Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 2009;7:751-8.
  100. Régine M-B, Gilles D, Yannick D, Alain B. Mercury distribution in fish organs and food regimes: Significant relationships from twelve species collected in French Guiana (Amazonian basin). *Science of The Total Environment*. 2006;368(1):262-70.
  101. Mason RP, Reinfelder JR, Morel FMM. Uptake, Toxicity, and Trophic Transfer of Mercury in a Coastal Diatom. *Environmental Science & Technology*. 1996;30(6):1835-45.
  102. Monterroso P, Abreu SN, Pereira E, Vale C, Duarte AC. Estimation of

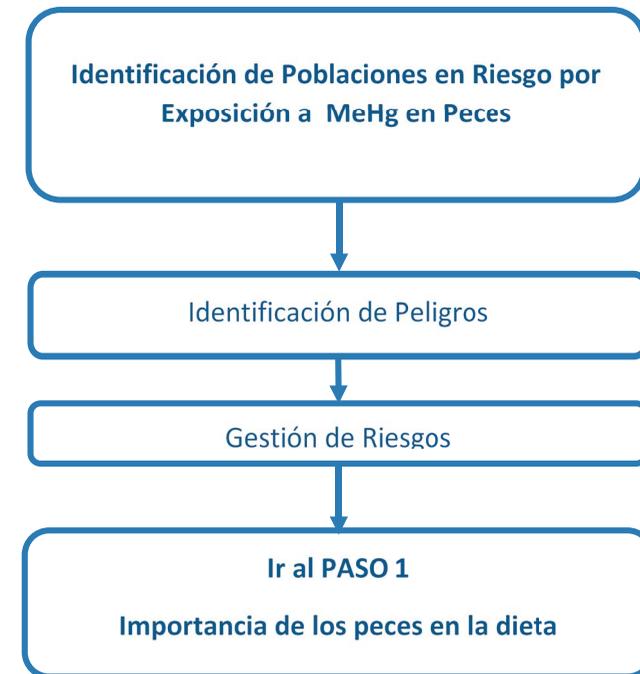
- Cu, Cd and Hg transported by plankton from a contaminated area (Ria de Aveiro). *Acta Oecologica*. 2003;24, Supplement 1(0):S351-S7.
103. Stafford CP, Haines TA. Mercury contamination and growth rate in two piscivore populations. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2001;20(9):2099-101.
  104. Pickhardt PC, Folt CL, Chen CY, Klaue B, Blum JD. Impacts of zooplankton composition and algal enrichment on the accumulation of mercury in an experimental freshwater food web. *Science of The Total Environment*. 2005;339(1-3):89-101.
  105. JECFA. Sixty-seventh meeting. Summary and Conclusions. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization. JECFA/67/SC(11pp). 2006 [cited 2012 Nov 26]; Available from: <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf>.
  106. Groth E. Mercurio en pescado. Un problema para la salud mundial. . New York 2009 [cited 2012 26 de Sep]; Available from: [http://www.zeromercury.org/phocadownload/Publications/Publications\\_2009/execsumm\\_spana4.pdf](http://www.zeromercury.org/phocadownload/Publications/Publications_2009/execsumm_spana4.pdf).
  107. Lewerenz HJ. Methylmercury (Environmental Health Criteria No. 101). 144 Seiten, 5 Abb. 11 Tab. World Health Organization, Geneva 1990. Preis: 16, — Sw.fr.; 12,80 US \$. Food / Nahrung. 1991;35(3):326-7.
  108. IARC. Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. International Agency for Research on Cancer: Stylus Pub Llc; 1993.
  109. Harada M. Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution. *Critical Reviews in Toxicology*. 1995;25(1):1-24.
  110. Schochet Ss. The Pathology of Minamata Disease. A Tragic Story of Water Pollution. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*. 2000;59(2):175.
  111. WHO/IPCS. Methylmercury. Environmental Health Criteria No 101, World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS). Geneva, Switzerland 1990.
  112. Salonen JT, Seppänen K, Nyssönen K, Korpela H, Kauhanen J, Kantola M, et al. Intake of Mercury From Fish, Lipid Peroxidation, and the Risk of Myocardial Infarction and Coronary, Cardiovascular, and Any Death in Eastern Finnish Men. *Circulation*. 1995;91(3):645-55.
  113. Rissanen T, Voutilainen S, Nyssönen K, Lakka TA, Salonen JT. Fish Oil-Derived Fatty Acids, Docosahexaenoic Acid and Docosapentaenoic Acid, and the Risk of Acute Coronary Events: The Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor Study. *Circulation*. 2000;102(22):2677-9.
  114. Zahir F, Rizwi SJ, Haq SK, Khan RH. Low dose mercury toxicity and human health. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2005;20(2):351-60.
  115. FAO/WHO. Expert Committee on Food Additives. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additives Series No. 44. World Health Organisation; 2000.
  116. Ikeda Y, Tobe M, Kobayashi K, Suzuki S, Kawasaka Y, Yonemaru H. Long-term toxicity study of methylmercuric chloride in monkeys (First report). *Toxicology*. 1973;1(4):361-75.
  117. Munro IC NE, Charbonneau SM, Junkins B, Zawidzka Z. Chronic toxicity of methylmercury in the rat. *J Environ Pathol Toxicol*. 1980;3(5-6):437-47.
  118. Lee C-H, Lin R-H, Liu SH, Lin-Shiau S-Y. Distinct genotoxicity of phenylmercury acetate in human lymphocytes as compared with other mercury compounds. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 1997;392(3):269-76.
  119. Silbergeld EK, Silva IA, Nyland JF. Mercury and autoimmunity: implications for occupational and environmental health. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2005;207(2, Supplement):282-92.
  120. Johansen P, Mulvad G, Pedersen HS, Hansen JC, Riget F. Human accumulation of mercury in Greenland. *Science of The Total Environment*. 2007;377(2-3):173-8.
  121. Chang J-W, Chen H-L, Su H-J, Liao P-C, Guo H-R, Lee C-C. Simultaneous exposure of non-diabetics to high levels of dioxins and mercury increases their risk of insulin resistance. *Journal of Hazardous Materials*. 2011;185(2-3):749-55.
  122. de Marco KC, Antunes LMG, Tanus-Santos JE, Barbosa Jr F. Intron 4 polymorphism of the endothelial nitric oxide synthase (eNOS) gene is associated with decreased NO production in a mercury-exposed population. *Science of The Total Environment*. 2012;414(0):708-12.
  123. Virtanen JK, Rissanen TH, Voutilainen S, Tuomainen T-P. Mercury as a risk factor for cardiovascular diseases. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2007;18(2):75-85.

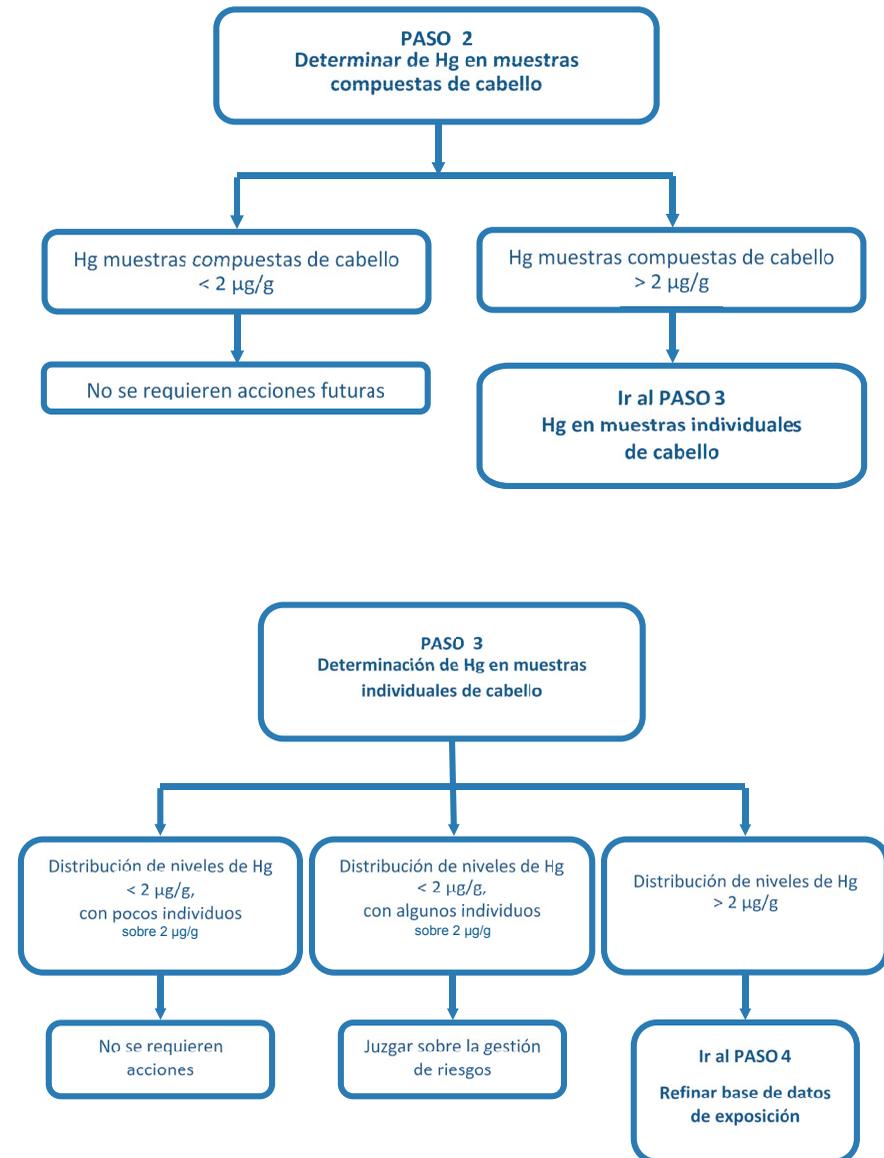
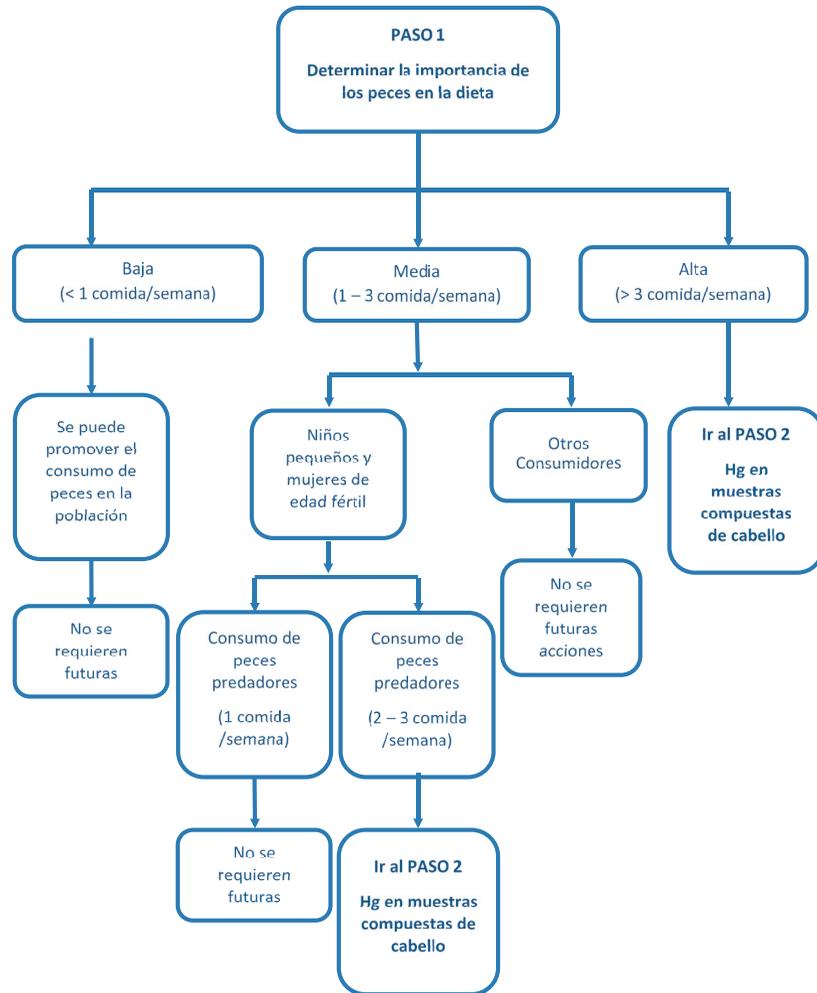
124. Furieri LB, Fioresi M, Junior RFR, Bartolomé MV, Fernandes AA, Cachofeiro V, et al. Exposure to low mercury concentration in vivo impairs myocardial contractile function. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2011;255(2):193-9.
125. Gallagher CM, Meliker JR. Mercury and thyroid autoantibodies in U.S. women, NHANES 2007–2008. *Environment International*. 2012;40(0):39-43.
126. Ursinyova M, Uhnakova I, Serbin R, Masanova V, Husekova Z, Wsolova L. The Relation Between Human Exposure to Mercury and Thyroid Hormone Status. *Biological Trace Element Research*.1-11.
127. Choy CMY, Yeung QSY, Briton-Jones CM, Cheung C-K, Lam CWK, Haines CJ. Relationship between semen parameters and mercury concentrations in blood and in seminal fluid from subfertile males in Hong Kong. *Fertility and Sterility*. 2002;78(2):426-8.
128. Karagas MR, Choi AL, Oken E, Horvat M, Schoeny R, Kamai E, et al. Evidence on the Human Health Effects of Low Level Methylmercury Exposure. *Environ Health Perspect*. 2012.
129. Barboni MTS, da Costa MF, Moura ALda, Feitosa-Santana C, Gualtieri M, Lago M, et al. Visual field losses in workers exposed to mercury vapor. *Environmental Research*. 2008;107(1):124-31.
130. Bridges CC, Battle JR, Zalups RK. Transport of thiol-conjugates of inorganic mercury in human retinal pigment epithelial cells. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2007;221(2):251-60.
131. Nevado JJB, Martín-Doimeadios RCR, Moreno MJ, do Nascimento JLM, Herculano AM, Crespo-López ME. Mercury speciation analysis on cell lines of the human central nervous system to explain genotoxic effects. *Microchemical Journal*. 2009;93(1):12-6.
132. Farina M, Aschner M, Rocha JBT. Oxidative stress in MeHg-induced neurotoxicity. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2011;256(3):405-17.
133. Rohling ML, Demakis GJ. A Meta-Analysis of the Neuropsychological Effects of Occupational Exposure to Mercury. *The Clinical Neuropsychologist*. 2006;20(1):108-32.
134. Ceccatelli S, Daré E, Moors M. Methylmercury-induced neurotoxicity and apoptosis. *Chemico-Biological Interactions*. 2010;188(2):301-8.
135. Farina M, Rocha JBT, Aschner M. Mechanisms of methylmercury-induced neurotoxicity: Evidence from experimental studies. *Life Sciences*. 2011;89(15–16):555-63.
136. Geier DA, Geier MR. A Prospective Study of Mercury Toxicity Biomarkers in Autistic Spectrum Disorders. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 2007;70(20):1723-30.
137. Bernard S, Enayati A, Redwood L, Roger H, Binstock T. Autism: a novel form of mercury poisoning. *Medical Hypotheses*. 2001;56(4):462-71.
138. Barcelos GRM, Angeli JPF, Serpeloni JM, Grotto D, Rocha BA, Bastos JK, et al. Quercetin protects human-derived liver cells against mercury-induced DNA-damage and alterations of the redox status. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2011;726(2):109-15.
139. JECFA. Sixty-first Meeting. Summary and Conclusions. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization. JECFA/61/SC(22pp.). . FAO/WHO Expert Committee on Food Additives; 2003; Available from: <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf>.
140. Atchison WD, Hare MF. Mechanisms of methylmercury-induced neurotoxicity. *The FASEB Journal*. 1994;8(9):622-9.
141. FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants : sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. In: Additives FWECof, editor. WHO Technical Report Series. Rome, Italy: FAO/WHO; 2006.
142. Nakagawa R, Yumita Y, Hiromoto M. Total mercury intake from fish and shellfish by Japanese people. *Chemosphere*. 1997;35(12):2909-13.
143. UNEP. Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. UNEP. UNEP(DTIE)/Hg/INC.2 /INF/3. Geneva: United Nations Environment Programme 2010.
144. von Rein K, Hylander LD. Experiences from phasing out the use of mercury in Sweden. *Reg Environ Change*. 2000;1(3-4):126-34.
145. Pirrone N. Mercury Research in Europe: Towards the preparation of the New EU Air Quality Directive. Rende, Italy: CNR-Institute for Atmospheric Pollution; 2001 [cited 2012 Nov 26]; Available from: <http://www.cprm.gov.br/pgagem/Manuscripts/pirronemercury.htm>.
146. Castilhos ZC, Rodrigues-Filho S, Rodrigues APC, Villas-Bôas RC, Siegel S, Veiga MM, et al. Mercury contamination in fish from gold mining areas in Indonesia and human health risk assessment. *Science of The Total Environment*. 2006;368(1):320-5.

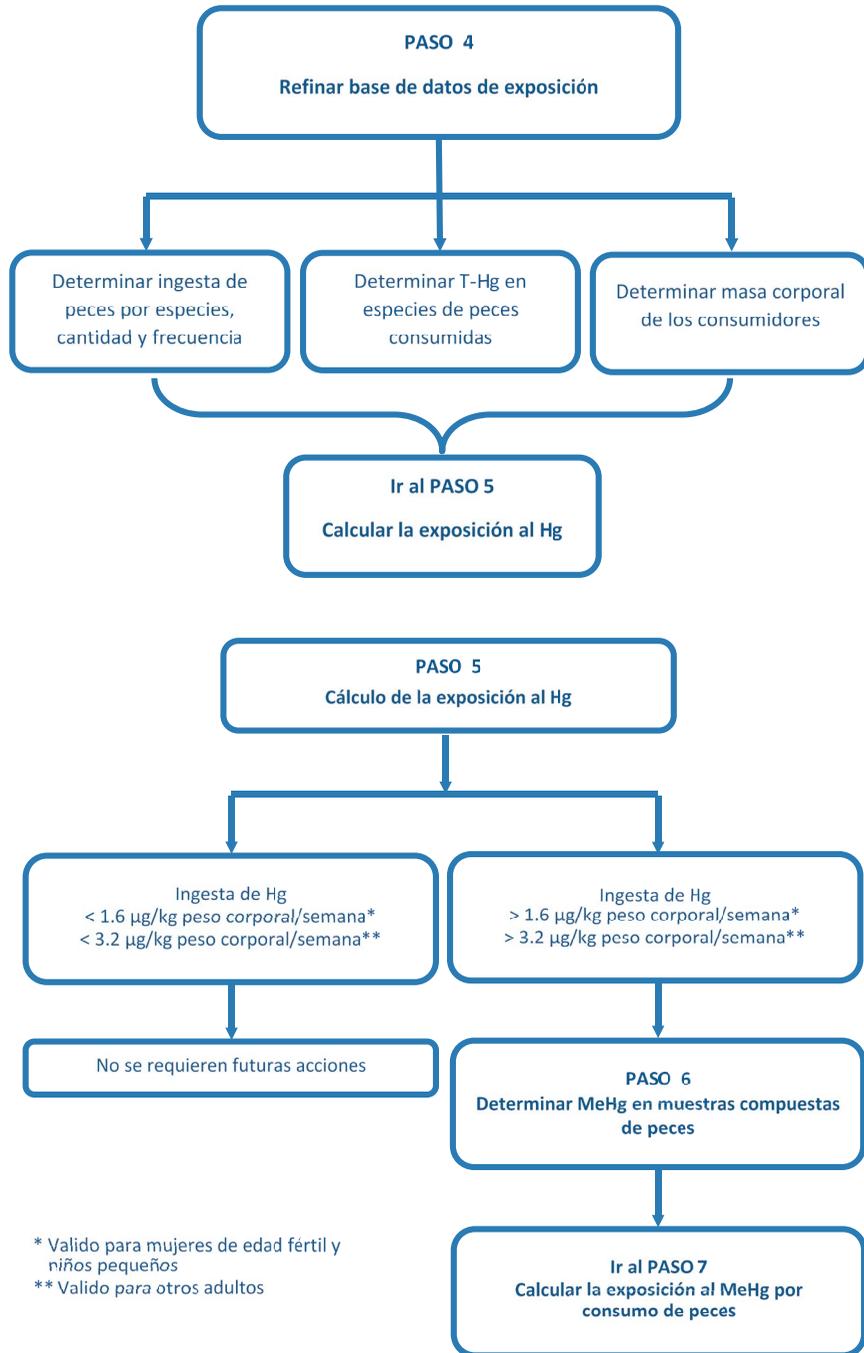
147. Ruiz Córdoba J, Sánchez H, CM. PM, editors. Seminario Internacional sobre Clínica del Mercurio. Memorias. Medición de las concentraciones de mercurio y controles ambientales en la quema de amalgamas provenientes de la minería; 2003.
148. Alvarez S, Jessick A, Palacio J, Kolok A. Methylmercury Concentrations in Six Fish Species from Two Colombian Rivers. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2012;88(1):65-8.
149. Cogua P. Estudio comparativo del flujo de mercurio a través de redes detritívoras y planctívoras en un estuario tropical. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Doctora en Ciencias-Biología: Universidad Nacional de Colombia; 2011.
150. ENSI. Encuesta de la Situación Nutricional de los colombianos 2005. In: Encuesta de la Situación Nutricional de los colombianos P, Instituto Nacional de Salud, Escuela de Nutrición y Dietética Universidad de Antioquia, Organización Panamericana de la Salud, editor. Bogota: ICBF; 2005.
151. Decreto-3518. Decreto 3518 del 9 de Octubre de 2006. Por el cual se crea y reglamenta el Sistema de Vigilancia en Salud Pública y se dictan otras disposiciones. 2006.
152. INS. Instituto Nacional de Salud de Colombia, Protocolo de vigilancia y control de la intoxicación por mercurio. 2012.
153. Lacerda LD, Marins RV. Anthropogenic mercury emissions to the atmosphere in Brazil: The impact of gold mining. *Journal of Geochemical Exploration.* 1997;58(2-3):223-9.
154. Pirrone N, Cinnirella S, Feng X, Finkelman R, Friedli H, Leaner J, et al. Global Mercury Emissions to the Atmosphere from Natural and Anthropogenic Sources. In: Mason R, Pirrone N, editors. *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere*: Springer US; 2009. p. 1-47.
155. UNEP. *Global Mercury Assessment*. Geneva, Switzerland United Nations Environment Programme Chemicals; 2002.
156. Naturvårdsverket. Mercury in the environment. Problems and remedial measures in Sweden. Naturvårdsverket. As cited by von Rein and Hylander (2000). Solna, Sweden 1991. p. 36.
157. Håkanson L, Nilsson Å, Andersson T. Mercury in the Swedish mor layer — linkages to mercury deposition and sources of emission. *Water, Air, & Soil Pollution.* 1990;50(3-4):311-29.
158. Iverfeldt Å, Munthe J, Brosset C, Pacyna J. Long-term changes in concentration and deposition of atmospheric mercury over Scandinavia. *Water, Air, & Soil Pollution.* 1995;80(1-4):227-33.
159. Johansson K, Bergbäck B, Tyler G. Impact of Atmospheric Long Range Transport of Lead, Mercury and Cadmium on the Swedish Forest Environment. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus.* 2001;1(3-4):279-97.
160. Louekari K, Mukherjee, A.B. and Verta, M. Changes in human dietary intake of mercury in polluted areas in Finland between 1967 and 1990. In: Watras CJ, J.W., editor. *Mercury pollution, Integration and Synthesis*. Finland: CRC Press, Lewis Publishers; 1994. p. 705-11.
161. US-EPA. Mercury update: Impact on fish advisories. EPA Fact sheet, June 2001. 2001 [cited 2012 Nov 26]; Available from: <http://www.epa.gov/ost/fish>.
162. Burger J, Gochfeld M. Selenium/mercury molar ratios in freshwater, marine, and commercial fish from the USA: variation, risk, and health management. *Reviews on Environmental Health* 2013. p. 129.
163. Ralston NVC, Raymond LJ. Dietary selenium's protective effects against methylmercury toxicity. *Toxicology.* 2010;278 (1):112-23.

## Anexos

**Anexo 1.** Diagrama de propuesta de acciones para la vigilancia y control

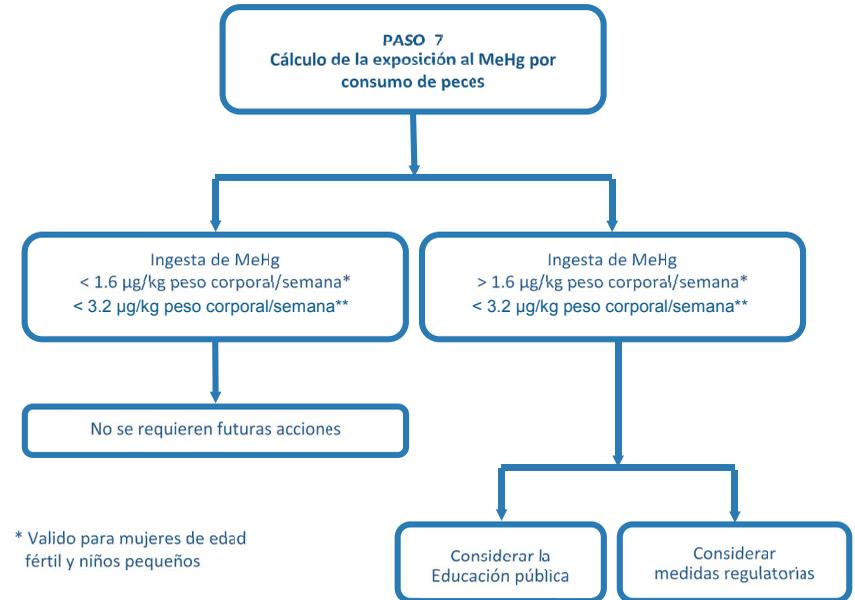




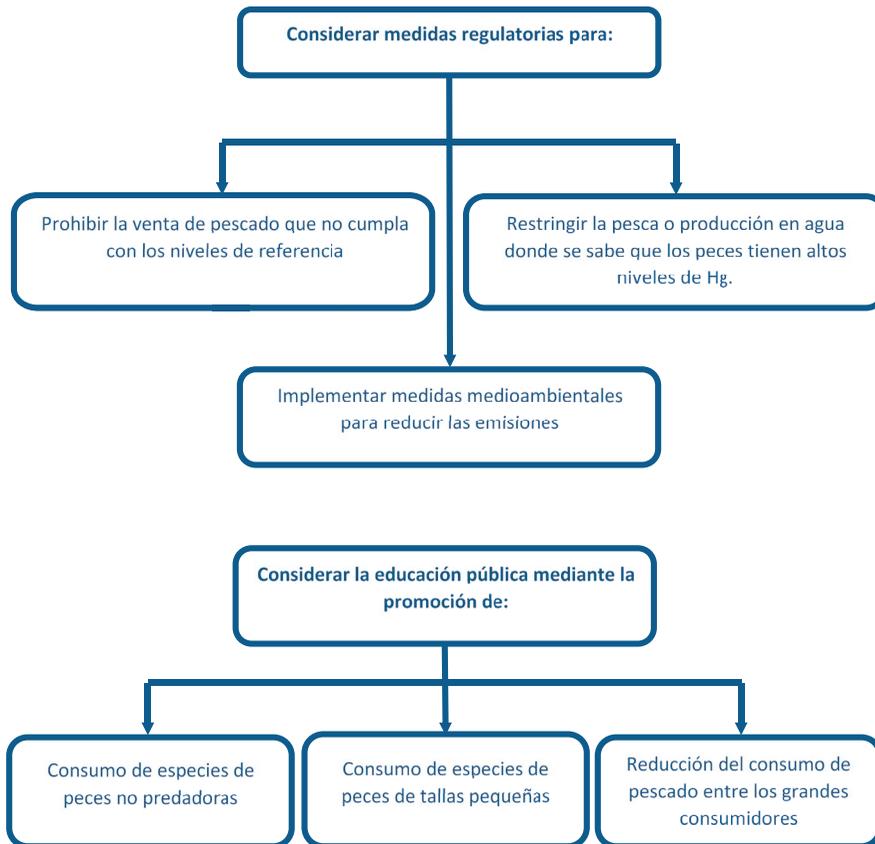


\* Valido para mujeres de edad fértil y niños pequeños

\*\* Valido para otros adultos



\* Valido para mujeres de edad fértil y niños pequeños



Fuente: grupo de redacción ERIA

## AGRADECIMIENTOS

A la Organización Mundial del Comercio (OMC) la cual a través de la donación de recursos del Fondo para la Aplicación de Normas y el Fomento del Comercio (FANFC) patrocinó el proyecto “Fortalecimiento de la Unidad de Evaluación de Riesgo para la Inocuidad de Alimentos (UERIA) para Colombia, en cumplimiento del Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la Organización Mundial del Comercio”.

Al Ministerio de Salud y Protección Social, especialmente a la Ingeniera Claudia Patricia Moreno Barrera por su interés y compromiso.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), especialmente a la Dra. María del Pilar Agudelo, por su valioso apoyo en la organización y logística para el desarrollo de este trabajo.

A la Subdirección de Alimentos y Bebidas Alcohólicas del INVIMA, especialmente el grupo de riesgos químicos, por el suministro de la información y aportes necesarios en el proceso.

A Joseph Ruano, por la diagramación de las diversas figuras que se presentan en este documento.



http://diarreadin.gov/barrenquill - ciudadproyectos - www.pisen.com/basaltos

[www.ins.gov.co](http://www.ins.gov.co)



INSTITUTO  
NACIONAL DE  
SALUD



**TODOS POR UN  
NUEVO PAÍS**  
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

Dirección de Vigilancia y Análisis del Riesgo en Salud Pública  
Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos

Bogotá D. C. Colombia  
PBX: (57+1) 220 77 00 ext. 1333

Línea Gratuita Nacional 01 8000 113 400  
contactenos@ins.gov.co