



**EVIDENCIA CIENTIFICA, NORMATIVA Y TECNICA
SOBRE LA PROBLEMÁTICA DEL MERCURIO EN
COLOMBIA**

REVISION SISTEMATICA DE LA LITERATURA

Septiembre de 2012



EVIDENCIA CIENTIFICA, NORMATIVA Y TECNICA SOBRE LA PROBLEMÁTICA DEL MERCURIO EN COLOMBIA

REVISION SISTEMATICA DE LA LITERATURA

Director del Proyecto y Director Ejecutivo Fundación FES

Alejandro Varela Villegas

Medico, Magister en Epidemiología y en Investigación en sistemas y servicios de
salud con énfasis en economía de la salud

avarela@fundacionfes.org

Coordinador del Proyecto y Director del Área de Salud Fundación FES

Julio César Mateus Solarte

Medico, Magister en Epidemiología

jcmateus@fundacionfes.org

Grupo de trabajo

Isabel Cristina Casas Quiroga, Ft. Mag Epi
Investigador Fundación FES
isabel.casas@fundacionfes.org

Elidier Gómez, Ing. Str., Mag Admon
Investigador Fundación FES
elidier.gomez@fundacionfes.org

Liliana Jiménez Hernández, Est. Mag Epi
Investigador Fundación FES
liliana.jimenez@fessocial.org

Martha Moyano, Bsc. Mag Epi
Investigador Fundación FES
martha.moyano@fessocial.org

Lina María Rodríguez, Soc. Cand Mag Soc.
Investigador Fundación FES
lina.rodriguez@fessocial.org

Sandra Girón, Econ., Mag Epi
Investigador Fundación FES
sandra.giron@fundacionfes.org

Mauricio Orozco Varela, Ing.
Investigador Fundación FES
mauricio.orozco@fessocial.org

Carmen Espitia, Ing. Alim., Mag Tox.
Investigador Fundación FES
cespitay1@unicartagena.edu.co

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
1. JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES.....	9
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GENERAL	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. MARCO TEÓRICO	14
4. METODOLOGÍA.....	18
4.1. ELECCION DEL PROTOCOLO	18
4.1.1. Formulación del problema	18
4.1.2. Localización y selección de estudios	19
Metodología de recopilación de información científica	20
4.1.3. Evaluación de calidad de los documentos	26
4.1.4. Análisis y presentación de resultados	26
4.1.5. Interpretación de los resultados	27
5. RESULTADOS	28
5.1. ESTADO DEL ARTE DE LOS EFECTOS EN SALUD, EFECTOS AMBIENTALES Y EFECTOS OCUPACIONALES DE LA EXPOSICIÓN AL MERCURIO	29
5.1.1. Salud pública	30
5.1.2. Salud ambiental	42
5.1.3. Salud ocupacional.....	53
5.2. MARCO LEGAL.....	62
5.3. INVENTARIO DE LAS FUENTES DE LIBERACIÓN DE MERCURIO EN COLOMBIA.....	63
5.3.1. Perfil nacional de sustancias químicas en Colombia 2010	63
5.3.2. Informe de cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia	66
5.4. PLANES Y PROGRAMAS DE INTERVENCIÓN	70
5.4.1. Planes y programas en el contexto internacional	70
5.4.2. Planes y programas en el contexto nacional	77
5.4.3. Programas de vigilancia en salud pública en Colombia.....	81



6.	MEDIDAS NECESARIAS PARA EL CONTROL E INTERVENCIÓN EN COLOMBIA	
	85	
6.1.	IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS.....	85
6.2.	ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN NACIONAL.....	88
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
	REFERENCIAS	91
	ANEXOS	98

DOCUMENTO BORRADOR CONFIDENCIAL

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. LISTA DE PALABRAS PARA SALUD PÚBLICA	20
TABLA 2. LISTA DE PALABRAS PARA SALUD AMBIENTAL	21
TABLA 3. LISTA DE PALABRAS PARA SALUD OCUPACIONAL	21
TABLA 4. LISTADO DE REVISTAS SEGÚN FACTOR DE IMPACTO.....	24
TABLA 5. LÍMITES PERMISIBLES EN MATRICES BIOLÓGICAS PARA COLOMBIA.....	32
TABLA 6. LÍMITES PERMISIBLES EN MATRICES AMBIENTALES PARA COLOMBIA	33
TABLA 7. ORGANISMOS LEGISLATIVOS OCUPACIONALES.	54
TABLA 8. GENERACIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS CON MERCURIO 2010	64
TABLA 10. RESULTADOS DE LA PRIORIZACIÓN PARA EL MERCURIO	65
TABLA 11. LIBERACIONES DE MERCURIO ESTIMADO POR CATEGORÍA	67
TABLA 12. LIBERACIONES DE MERCURIO POR SUBCATEGORÍAS.....	69
TABLA 13. ALGUNOS PROYECTOS DE INTERVENCIÓN REALIZADOS EN COLOMBIA	80

LISTADO DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1. MARCO DE TRABAJO PRECEDE-PROCEED	15
FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS DOCUMENTOS SELECCIONADOS	28
FIGURA 3. CICLO DEL MERCURIO EN EL AMBIENTE.....	43

DOCUMENTO BORRADOR CONFIDENCIAL

INTRODUCCIÓN

La problemática del mercurio es global y afecta tanto a los seres humanos como al medio ambiente, por ello este es un tema que ocupa numerosas organizaciones de carácter nacional e internacional, entre ellas la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Comité Intergubernamental de negociación sobre el Mercurio (INC).

Los efectos del mercurio son diversos y ampliamente discutidos en la literatura científica. Tales efectos se relacionan con la forma, la ruta y la magnitud de la exposición (1); lo que resulta indiscutible es su alta capacidad de bioacumularse y bio-amplificarse en los seres vivos. Estos efectos pueden incrementarse en función de la ocupación de los individuos. En el caso de Colombia las poblaciones con mayor carga de exposición son: los mineros, los pescadores y los trabajadores de salud oral (2). A este grupo podemos sumar las personas que consumen pescado regularmente y en abundante cantidad.

Dentro del ámbito de América Latina, Colombia es reconocida como uno de los principales países que usan el mercurio para la extracción del oro, impulsado por la dinámica del mercado: el precio del oro ha tenido una tendencia al alza (desde US\$260 en el año 2001 hasta US\$1.000 en 2008 y a US\$1.700 en la actualidad), lo que se ha relacionado con un incremento en la magnitud del problema a nivel nacional (3)

Los organismos internacionales coinciden que es necesario abordar la problemática del mercurio desde un panorama amplio que considere la identificación de las poblaciones en riesgo de exposición, los efectos en salud, los procesos productivos involucrados y las acciones encaminadas a disminuir la exposición y mitigar el impacto.

En este contexto, y con el propósito de generar acciones que impacten positivamente la situación de nuestro país, la Fundación FES y el Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS) establecieron un convenio de asociación con el fin de formular acciones y diseñar un plan de investigaciones para el monitoreo de los posibles efectos en salud asociados a la exposición a mercurio en las zonas contaminadas y priorizadas del país.

El primer producto de este proyecto consiste en la construcción de una revisión crítica de la literatura que recopile la información científica, normativa y técnica sobre la problemática del Mercurio en Colombia. Se espera que este documento se convierta en un instrumento para la toma de decisiones, por ello es importante que cubra la evidencia de efectos en salud, la normatividad existente, los planes y programas de remediación y el inventario de fuentes.

El análisis que se plantea en esta revisión permitió identificar vacíos de información, vacíos legales y administrativos, identificar actores importantes y detectar necesidades de recursos para llevar a cabo actividades prioritarias.

Para realizar la revisión sistemática de la literatura se recolectó información de bases de datos científicas y de documentos técnicos que algunas entidades gubernamentales generan con relación al manejo del Mercurio. La revisión se fundamentó teniendo en cuenta tres áreas de interés fundamentales: la salud pública, la salud ambiental y ocupacional.

En el capítulo 1 se presentan los antecedentes del problema y la justificación para abordarlo desde una visión amplia y con una metodología comprehensiva.

En el capítulo 2 se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de la revisión sistemática.

En el capítulo 3 se hace una conceptualización del marco teórico sobre el cual se soporta el proyecto considerando la necesidad de iniciar con un diagnóstico de la situación actual hasta la evaluación de las intervenciones propuestas.

El capítulo 4 describe de manera detallada la metodología que se empleó para conducir la revisión sistemática partiendo desde las palabras clave, fuentes de información y estrategias de selección de los documentos.

El capítulo 5 presenta los resultados de la revisión sistemática a partir de: 1) los efectos en salud pública, salud ocupacional y ambiental, 2) la normatividad existente a nivel internacional y nacional, 3) el inventario de fuentes de Mercurio en Colombia y 4) los planes y programas desarrollados.

En el capítulo 6 se presentan las medidas necesarias para que en Colombia se pueda hacer un control e intervención adecuada, identificando para ello las acciones para la reducción de riesgos y las necesidades de investigación.

Por último en el capítulo 7 conclusiones y recomendaciones a seguir.

1. JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES

El Mercurio se produce de manera natural en el ambiente, sin embargo los niveles de Mercurio han aumentado considerablemente (con un factor 1,5 a 3 desde el inicio de la era industrial) (4). Las emisiones de Mercurio se pueden agrupar en cuatro categorías: 1) Liberación de fuentes naturales debidas a la movilización natural del Mercurio tal como se encuentra en la corteza terrestre, como la actividad volcánica o la erosión en las rocas, 2) Liberaciones antropógenas (asociadas con la actividad humana) resultantes de la movilización de impurezas de Mercurio en materias primas como los combustibles fósiles, 3) Liberaciones antropógenas resultantes del uso intencional del Mercurio en productos y procesos durante la fabricación, los derrames, la eliminación o incineración de productos agotados y liberaciones de otro tipo, y 4) La removilización de liberaciones antropógenas pasadas de Mercurio anteriormente depositado en suelos, sedimentos, masas de agua, vertederos y acumulaciones de desechos o residuos.

Los niveles de Mercurio emitidos por las plantas de carbón son responsables por la mitad de la contaminación mundial, sobrepasando de manera significativa las fuentes naturales. El Mercurio se encuentra actualmente en diversos medios y alimentos (especialmente el pescado) en niveles que afectan adversamente a los seres humanos y la vida silvestre. La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de Mercurio en vertederos producto de los desechos de la minería y emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados. De hecho, hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de Mercurio, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del Mercurio (5).

El Mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema nervioso en desarrollo. El nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta. Los seres humanos pueden estar expuestos al Mercurio mediante el consumo de pescado contaminado, el desempeño en ambientes ocupacionales contaminados, en el ámbito doméstico, en procedimientos odontológicos (amalgamas dentales) y cuando se usan vacunas que contienen Mercurio (4).

El Mercurio tiene una alta capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimentaria. Potencialmente todas las formas de Mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilmercurio se absorbe y acumula más que las otras

formas del metal. El Mercurio inorgánico también puede ser absorbido pero por lo general en menores cantidades y con menor eficiencia que el metilmercurio (6, 7). Los efectos tóxicos, especialmente en el caso del metilmercurio, pueden darse con concentraciones más pequeñas de lo que se había pensado en un principio (8). Sin embargo, este hecho resulta difícil de probar debido a que los efectos tóxicos sospechosos son sutiles y sus mecanismos complejos. El metilmercurio en los alimentos, como por ejemplo en el pescado, supone un particular riesgo para la salud debido a que es fácilmente absorbido en el cuerpo a través del estómago y los intestinos.

La exposición durante el embarazo es altamente preocupante, debido a que el metilmercurio puede dañar el desarrollo del cerebro del feto. Algunos estudios sugieren que pequeños incrementos en la exposición pueden afectar al sistema circulatorio y al corazón (9). Además, hoy en día hay evidencia alguna de que el metilmercurio puede causar cáncer a los seres humanos, aunque ésta evidencia es débil y está lejos de ser concluyentes. A pesar de ello, la IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) clasifica el metilmercurio como "posiblemente carcinógeno para el ser humano" (10).

El Mercurio elemental también es **venenoso**  a el sistema nervioso. Los seres humanos están principalmente expuestos a través de la inhalación de sus vapores, no obstante, cuando el Mercurio elemental es ingerido, la cantidad absorbida por el cuerpo es muy pequeña. La inhalación de vapores de Mercurio elemental puede provocar desórdenes neurológicos y de comportamiento, tales como temblores, inestabilidad emocional, insomnio, pérdida de memoria, cambios neuromusculares y dolores de cabeza. Así mismo puede producir daños en riñones y la tiroides. También se han registrado fallecimientos debidos a altas exposiciones. Sin embargo, en estos momentos no hay pruebas suficientes para decir que el Mercurio elemental cause cáncer a los seres humanos, y la IARC lo ha clasificado entre las sustancias que "no pueden ser clasificadas con respecto a su carcinogenicidad para el ser humano" (10).

Pese a la falta de datos, las investigaciones realizadas durante medio siglo han permitido acumular conocimientos sobre el Mercurio, reconocer su potencial efecto tóxico e implementar medidas tendientes a minimizar su liberación ambiental y posterior incorporación a la cadena alimenticia (11). Por ello, las iniciativas vigentes se encaminan a reducir o prevenir la liberación de Mercurio en el medio ambiente y a evitar sus efectos directos o indirectos en la salud humana.

Hasta el momento en Colombia se han realizado intervenciones aisladas en algunas regiones del país. En los departamentos de Antioquia, Nariño, Valle del Cauca, Cauca, Bolívar y Putumayo a través de los CAM (Centros Ambientales

Mineros) se han desarrollado actividades que se han ocupado principalmente de estudiar el proceso productivo, sin embargo estas intervenciones aún no cuentan con una metodología operativa que permita generalizar las acciones a otras zonas en riesgo dentro del país, por ejemplo en Antioquia se realizó un plan de intervención en salud pública pero no fue sostenible. 

El Mercurio y la Minería

En el mundo existen aproximadamente cien millones de personas que dependen económicamente de la minería artesanal de pequeña escala (MPE) en más de 55 países. La mayoría de estos países se sitúan en África, Asia, y América Latina. Se estima que esta actividad es responsable de la producción de 800 toneladas de oro anuales (30% de la producción de oro global anual) (3). Esta operación involucra tanto mineros, como mujeres y niños, de forma directa o indirecta.

En América Latina la minería en pequeña escala representa un método de subsistencia para un millón personas en países como Guyana, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Surinam, Venezuela, Costa Rica, República Dominicana, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua y Panamá. Se estima que entre 60.000 y 90.000 mineros a pequeña escala trabajan alrededor de Tapajós, Brasil (12).

Es así como la minería artesanal del oro genera el mayor consumo individual de Mercurio en América Latina y presenta una tendencia creciente en los últimos años. En Colombia y Perú, los principales importadores de la región ingresaron 223 toneladas de Mercurio durante 200  destinados en su mayoría a las labores de minería, lo cual incrementa el riesgo de contaminación ambiental y efectos negativos para la salud humana.

En Colombia, estudios dirigidos por la Gobernación de Antioquia en los municipios de Segovia y Remedios encontraron una concentración del Mercurio de **aproximadamente 340 μ g/m³ en el aire (300 veces  superior que la pauta de Organizaciones de Salud Mundial para la exposición pública máxima al vapor del Mercurio)**. Aproximadamente 26 a 6.118 ppm de Hg es vertido en los ríos por mineros de la región; **el alimento principal de estas comunidades es el pescado el cual se ha encontrado contaminado con Mercurio ** estudios conducidos por Corantioquia, la Universidad de Antioquia y la Universidad de Cartagena, han mostrado como resultado una concentración encima de 1,06 μ g Hg/g en la mayoría de las especies (13).

Ante esta problemática se han generado iniciativas internacionales como es el *Proyecto de Mercurio Global (GMP)* de la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) lanzada en el 2002. Dentro de los objetivos

principales de dicho proyecto se encuentra la introducción de tecnologías más limpias para llevar a cabo el proceso del beneficio del oro y el desarrollo de capacidad y mecanismos reguladores que permitan minimizar la contaminación con Mercurio.

En Colombia aún parece existir escasa información sobre el Mercurio. Dentro de las iniciativas desarrolladas en el país es importante mencionar que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en sinergia con la Universidad de Antioquia emitieron en 2010 un documento basado en la metodología propuesta por la OMS para la identificación y cuantificación de liberaciones de Mercurio que contiene el informe en los diferentes sectores productivos y de servicios (14). En este informe se encontró que las mayores entradas de Mercurio al país se dirigen a la producción primaria de metales (170 Ton/año).

Además, Colombia carece de una normativa que regule el uso, manipulación, comercialización del Mercurio y emisiones al ambiente. De allí surge en el año 2010 un proyecto de ley que está en curso en el congreso, el cual busca la eliminación gradual del Mercurio en la minería.

Todo lo anterior hace prioritario elaborar una revisión de la evidencia científica, normativa y técnica existente sobre el tema para que a partir de dicho documento se logre diseñar un marco conceptual y operativo para desarrollar estrategias de prevención, control y mitigación de los efectos del Mercurio sobre la salud y el ambiente en Colombia, así como diseñar propuestas de prioridades de investigación con el propósito de generar información que fortalezca la prevención de los potenciales efectos deletéreos de este metal sobre la salud y el ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis crítico sobre la evidencia científica, normativa y técnica de la problemática del Mercurio a nivel nacional e internacional en el sector salud y otros sectores relacionados

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir los planes y programas existentes para mitigar la exposición a Mercurio que sean aplicables al contexto Colombiano

Identificar las necesidades de investigación sobre la problemática del Mercurio en Colombia

DOCUMENTO BORRADOR CONFIDENCIAL

3. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de este proyecto está soportado en la base teórica del modelo *Precede-Procede* (P-P) propuesto por Green y Kreuter en 1991 (15). En el diseño de (P-P), el cual se soporta en los principios de la práctica, la participación, el empoderamiento y en el desarrollo e implementación de soluciones, la participación de las audiencias involucradas tanto en la definición de sus problemas como en el desarrollo e implementación de soluciones es parte fundamental del éxito de la solución planteada.

El modelo *Precede-Proceed* enfatiza la idea básica de que la salud y las conductas están determinadas por múltiples factores y que las acciones multisectoriales y multidisciplinarias son fundamentales para lograr una mejoría en las condiciones de la población afectada (16), por ello este modelo ha sido usado en diversos programas de promoción de salud dado que considera los factores determinantes de la salud y orienta a los planificadores de programas a identificar estos factores para el diseño de las intervenciones, facilitando la planificación, implementación y evaluación integral de programas, así como el desarrollo de las políticas y legislación (15). Así también el modelo (P-P) ha sido adaptado y aplicado con éxito en diferentes programas de promoción de salud con énfasis en cambios ambientales y en la implementación de políticas y regulaciones.

De acuerdo a lo anterior el modelo (P-P) ofrece como ventaja la posibilidad de realizar un amplio diagnóstico e incluye consideraciones acerca de dos etapas o fases diferentes de la acción en promoción de la salud. Los postulados de este modelo incluyen el diagnóstico social, el diagnóstico epidemiológico, el diagnóstico del comportamiento y el diagnóstico administrativo. Este modelo parte de diversas disciplinas para analizar los problemas sociales, de salud y factores del comportamiento.

La aplicación del P-P requiere el desarrollo metodológico de 9 pasos. Se focaliza en los resultados de salud, luego explora sus orígenes y determinantes y, posteriormente, selecciona las mejores intervenciones para alcanzar los objetivos buscados.

La primera fase llamada *Precede* se orienta al diagnóstico y evaluación de factores determinantes del fenómeno. Está compuesta por cinco fases de diagnóstico y evaluación de las características de la población, sus necesidades, las causas de la problemática y las posibilidades de llevar a cabo las intervenciones.

De manera detallada los factores que componen la fase *Precede* son:

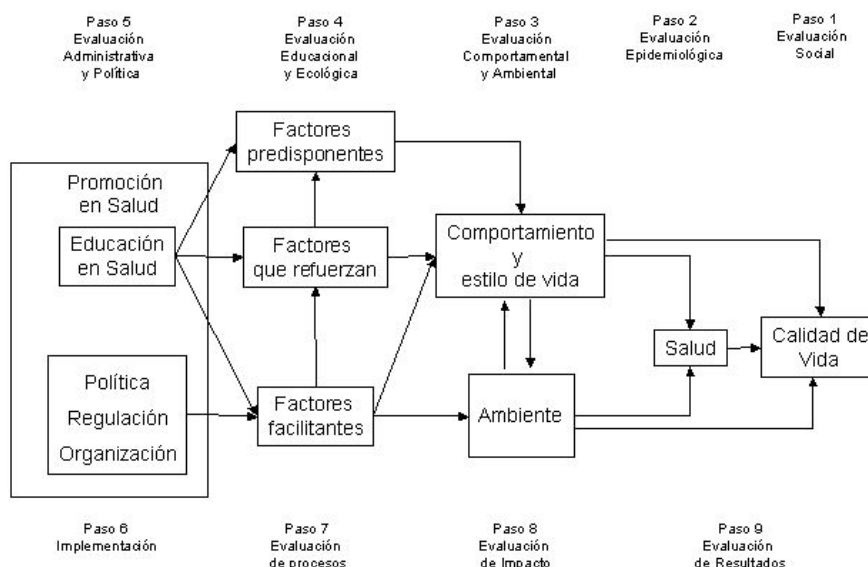
- 1) Evaluación social de las necesidades
- 2) Diagnóstico epidemiológico de la situación y los problemas de salud más frecuentes
- 3) Evaluación comportamental y ambiental
- 4) Evaluación de los factores que predisponen, refuerzan y favorecen el fenómeno
- 5) Evaluación administrativa y política

La segunda etapa, denominada *Proceed* está constituida por cuatro fases que se dirigen a analizar políticas, normas y estructuras de las organizaciones como parte de las variables ambientales que influyen en la adopción de conductas y también a evaluar el proceso construcción de los programas implementados, su impacto y sus resultados.

Los factores que intervienen en la fase *Proceed* son:

- 6) Implementación de acciones
- 7) Evaluación de procesos
- 8) Evaluación del impacto de las acciones
- 9) Evaluación de los resultados de las acciones

Figura 1. Marco de trabajo Precede-Proceed



Tomado de Health behavior and health education. Theory, research and practice (15)

El modelo (P-P) es una herramienta que facilita la elaboración de un amplio diagnóstico comunitario en cuanto que aborda múltiples determinantes de la salud y permite la participación activa de la población. El modelo hace posible proponer estrategias de intervención más acordes con las necesidades que influyen en la salud de la comunidad porque se parte del supuesto de que cuando las personas o grupos sociales tienen un mayor conocimiento sobre los determinantes de la salud, aumenta su capacidad de tomar decisiones que afectan favorablemente su bienestar personal, familiar o comunitario (17).

En el P-P, la evaluación social conlleva el entendimiento de las necesidades percibidas de la comunidad. Así mismo, las evaluaciones epidemiológicas, comportamentales y educacionales documentan las necesidades reales. En este modelo, la identificación de las necesidades es el punto de partida para proponer y diseñar intervenciones; la evaluación administrativa y política, define los parámetros en los que esta operará.

Dado que, la planeación de una intervención es un proceso iterativo, la evaluación (pasos 7-9) es un proceso mediante el cual la intervención se actualiza y adecua según necesidades para posteriores aplicaciones. De esta manera, seguir los pasos del P-P, asegura la replicación del desarrollo de intervenciones y la disponibilidad de documentar los pasos seguidos en aras de sistematizar el proceso y lograr una mejor replicación del mismo.

A continuación, se describirá el proceso de diseño del proyecto, teniendo en cuenta cada una de las fases del modelo de planeación PRECEDE – PROCEED:

Fase 1 – Análisis de la situación y recopilación de información

Se realizó una revisión sistemática de la literatura. Para la revisión sistemática de la literatura se identificaron los siguientes temas prioritarios: i) efectos y riesgos en salud de la exposición a Mercurio desde el ámbito de la salud humana, la salud ocupacional y ambiental, ii) marco normativo y políticas públicas en el contexto nacional e internacional, iii) programas e intervenciones para la mitigación de las exposiciones de riesgo que se han implementado a nivel nacional e internacional

Fase 2 – Diseño y propuesta de un plan de acción para el sector salud

Para la realización de la fase 2 se concertarán mínimo dos (2) reuniones con expertos nacionales e intersectoriales. La primera reunión tiene como objetivo identificar las necesidades de investigaciones y acciones prioritarias en la reunión

final se realizará para revisar las propuestas de plan de acción y propuestas de prioridades de investigación nacional. Así mismo se propondrán líneas prioritarias de investigación en salud teniendo en cuenta para ello los avances científicos, los problemas prioritarios en salud, el análisis de la situación de salud, la organización y gestión de los servicios, las políticas sectoriales, considerando en todo caso, criterios de viabilidad y factibilidad, aplicación, difusión y evaluación del impacto de las investigaciones.

Para la recopilación de información a nivel nacional el equipo técnico se desplazará a las zonas priorizadas para identificar a los expertos, realizar búsqueda de información y de estrategias de acción implementadas en dichas zonas.

La propuesta del plan de acción para el sector salud será construido a partir de una metodología de planificación integral que se corresponde con los factores del modelo (P-P); también se fundamentará en otras experiencias metodológicas que se hayan trabajado, por ejemplo en el estudio de enfermedades crónicas.

DOCUMENTO BORRADOR CONFIDENCIAL

4. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto denominado "Formulación de acciones y diseño de un plan de investigaciones para el monitoreo de los posibles efectos en salud asociados a la exposición a mercurio en las zonas contaminadas y priorizadas del país" contempla la realización de dos fases metodológicas, de acuerdo al modelo teórico *Precede-Proceed*.

En respuesta a la primera fase del proyecto y con el objetivo de construir un análisis crítico de la evidencia científica, normativa y técnica, sobre la problemática del mercurio a nivel nacional e internacional del sector salud y de otros sectores relacionados se realizó una revisión sistemática de literatura. Este tipo de estudio permite identificar publicaciones relacionadas con una pregunta específica utilizando métodos estrictos para la búsqueda y selección de los documentos (18), lo que permite disminuir la probabilidad de incurrir en sesgos de selección

4.1. ELECCION DEL PROTOCOLO

Teniendo en cuenta que el uso de métodos explícitos y sistemáticos en las revisiones limita el sesgo (errores sistemáticos) y reduce los efectos encontrados por azar, proporcionando así resultados más confiables sobre los cuales sacar conclusiones y tomar decisiones, después de una revisión de varios protocolos para la realización de revisiones sistemáticas, se eligió el manual de Revisores Cochrane. De acuerdo a lo anterior las siguientes secciones están organizadas siguiendo los pasos que se requieren para la preparación de la revisión sistemática:



4.1.1. Formulación del problema

En esta investigación, se realizó lectura y análisis de artículos originales, documentos técnicos, artículos de revisión y planes de intervención en el contexto nacional e internacional.

Para alcanzar este objetivo y en consecuencia con el alcance de la búsqueda de bibliografía se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- Cuáles son las evidencias legales, técnicas y científicas de los últimos 10 años a nivel nacional e internacional sobre los efectos en salud: la exposición a mercurio?

- Cuáles son las normas de calidad ambiental a nivel nacional e internacional que fijan la concentración máxima aceptable de mercurio para población expuesta, vulnerable, agua y alimentos?
- Cuáles son las iniciativas y programas a nivel nacional e internacional relacionados con el control de las liberaciones de mercurio en el medio ambiente y sus efectos en salud?

Por lo anterior, para la realización de la revisión sistemática se identificaron los siguientes temas prioritarios:

- Efectos y riesgos en salud humana, ambiental y ocupacional de la exposición a mercurio
- Marco normativo y políticas públicas en el contexto nacional e internacional
- Inventario de fuentes de liberación de mercurio a nivel nacional
- Programas e intervenciones para la mitigación las exposiciones de riesgo que se han implementado a nivel nacional e internacional

4.1.2. Localización y selección de estudios

Se consideraron los siguientes criterios de selección para los documentos

- Fecha de publicación: Documentos internacionales publicados a partir de 2001 y Documentos nacionales publicados a partir de 1990
- Documentos en formato de texto completo
- Tipos de documentos: Estudios observacionales nacionales e internacionales, revisiones sistemáticas de la literatura, documentos técnicos nacionales e internacionales que incluyan modelos de intervención y metodología para evaluación de las mismas, documentos legales y normativos, artículos de revisión, documentos publicados en bases de datos especializadas en salud y ambiente, documentos publicados en páginas oficiales de organismos nacionales e internacionales relacionadas con el tema.

La posibilidad de incurrir en sesgos de selección de los artículos se minimizó por medio del establecimiento de los criterios de inclusión de los documentos previo inicio de la búsqueda (19).

Adicionalmente se emplearon las siguientes estrategias para disminuir la posibilidad de incurrir en sesgos: i) lectura individual de los títulos de los documentos, ii) lectura de los abstracts de los documentos que no ingresaron en el

primer paso por parte de dos evaluadores para tomar una decisión final frente a la inclusión.

La localización y selección de los estudios se realizó durante seis (6) semanas. Las fuentes de información necesarias para la identificación de los estudios incluyeron: la búsqueda en las bases de datos electrónicas, la verificación de listas de referencias y la búsqueda manual.

Metodología de recopilación de información científica

Para la definición de los criterios de búsqueda se llevo a cabo el siguiente procedimiento:

Selección de palabras clave: Se establecieron una serie de palabras clave que fueron sometidas a verificación en la aplicación DeCS, las cuales fueron revisadas por el grupo de trabajo encontrando un alto grado de especificidad lo cual dificultaba la búsqueda de información.

Tabla 1. Lista de palabras para salud pública

Salud Pública		
Español	Ingles	Portugués
Límites permisibles	Permissible limits	Limites Permissíveis
Grupos vulnerables	Risks groups	Grupos de Risco
Formulación de políticas	Policy making	Formulação de Políticas
Informe técnico	Technical report	Relatório Técnico
Evaluación de programas y proyectos de salud	Program Evaluation	Avaliação de Programas e Projetos de Saúde
Vigilancia sanitaria	Health surveillance	Vigilância Sanitária
Impactos en la salud	Impacts on health	Impactos na Saúde
Compuestos de metilmercurio	Methylmercury compounds	Compostos de Metilmercúrio
Concentración máxima admisible	Maximum allowable concentration	

Tabla 2. Lista de palabras para salud ambiental

Ambiente		
Español	Inglés	Portugués
Formulación de políticas	Policy making	Formulação de Políticas
Evaluación de programas y proyectos	Program Evaluation	Avaliação de Programas e Projetos de Saúde
Informe técnico	Technical report	Relatório Técnico
Vigilancia sanitaria ambiental	Environmental health surveillance	Vigilância Sanitária Ambiental
Bioacumulación	Bioaccumulation	Bioacumulação
Contaminación ambiental	Environmental pollution	Poluição Ambiental
Residuos peligrosos	Hazardous waste	Resíduos Perigosos

Tabla 3. Lista de palabras para salud ocupacional

Salud Ocupacional		
Español	Inglés	Portugués
Límites permisibles	Permissible limits	Limites Permissíveis
Exposición a riesgos ambientales	Environmental exposure	Exposição Ambiental
Formulación de Políticas	Policy making	Formulação de Políticas
Informe técnico	Technical report	Relatório Técnico
Evaluación de programas y proyectos	Program Evaluation	Avaliação de Programas e Projetos de Saúde
Vigilancia sanitaria	Health surveillance	Vigilância Sanitária
Minería	Mining	Mineração
Amalgama dental	Dental amalgam	Amálgama Dentário

Adicionalmente, se definió un término de búsqueda inicial amplio (mercury) combinado con términos más específicos ("public health"); ("environmental pollution") y utilizando el operador AND para de esta manera garantizar que la lista de resultados se ajustara a esta necesidad específica de información.

Mercury AND "public health"
Mercury AND "environmental Pollution"
Mercúrio & "saúde ambiental"

Los términos de búsqueda se tomaron como referencia de estudios relacionados con el tema. Los expertos en el tema son considerados como referentes clave dentro del proceso de búsqueda para localizar documentos y discutir hallazgos.

No se empleó el operador booleano OR dado que al utilizarlo se están ubicando documentos que contienen cualquiera de los términos de búsqueda solicitados. Teóricamente, este operador es útil para buscar términos sinónimos o cuasi-sinónimos.

Una vez determinado que la revisión bibliográfica para esta investigación debe dar cubrimiento a los últimos avances en el tema tanto a nivel nacional como internacional, se definieron las siguientes fuentes de información:

a. Bases De Datos Bibliográficas Referenciales:

WEB OF SCIENCE (THOMSON): Base de datos multidisciplinaria de literatura académica influyente, revisada por pares académicos y con contenidos en diferentes disciplinas, editores y lugares. Incluye los reconocidos índices:

SCOPUS (ELSEVIER): Base de datos de resúmenes y referencias bibliográficas de literatura científica revisada por pares, con más de 18.000 títulos de 5.000 editoriales internacionales se ofrece una visión multidisciplinaria de la ciencia e integra todas las fuentes relevantes para la investigación básica, aplicada e innovación tecnológica a través de artículos científicos, patentes, fuentes de Internet de contenido científico, revistas científicas de acceso abierto, memorias de congresos y conferencias.

b. Bases De Datos Bibliográficas Editores Específicos:

SPRINGER LINK (SPRINGER)

SCIENCE DIRECT (ELSEVIER)

c. Portales Legislación Nacional E Internacional:

AMBIENTALEX.INFO

SALUD.LEYEX.INFO

d. Bases De Datos Open Access:

SCIELO BRASIL

BVS-VSPCOL: Biblioteca Virtual para la Vigilancia en Salud Pública Colombia

e. Otros Recursos:

JOURNAL CITATION REPORT (THOMSON): Clasificación de las revistas científicas de acuerdo al factor de impacto por áreas temáticas.

ENDNOTE WEB: Gestor de citas bibliográficas. Se utilizó para conformar la base de datos de documentos preclasificados para su posterior revisión exhaustiva.

La estrategia de búsqueda se realizó en tres aspectos: en bases de datos bibliográficas referenciales, en bases de datos editores específicos y bases de datos Open Access y en revistas de alto impacto, el procedimiento empleado se describe a continuación:

1. Búsqueda avanzada con término consultado en los campos (título, abstract, palabras clave) Términos:

Mercury AND "public health"
Mercury AND "environmental Pollution"
Mercúrio & "saúde ambiental"

2. Limitador inicial: Fecha entre 2001 y el presente
3. Una vez obtenida una lista de resultados inicial se utilizó un filtró por categorías temáticas excluyendo las categoría no pertinentes a la información solicitada o términos que iban a ser utilizados en otras líneas de investigación anexas a este proyecto.
4. Se realizó un segundo filtro por idiomas considerando los artículos publicados en inglés, español y portugués. Se seleccionaron artículos en portugués, pero la mayoría de ellos se encuentran publicados también en idioma inglés, por lo tanto se decidió realizar la revisión en dicho idioma.
5. Se filtró nuevamente la lista de resultados obtenida, seleccionando los documentos publicados a partir del año 2009.
6. Se revisó esta nueva lista a través de una lectura rápida de abstracts para de esta manera seleccionar el primer grupo de artículos.
7. Se eliminó el filtro establecido en el numeral 5 para fijar uno nuevo teniendo en cuenta fechas de publicación desde el 2001 al 2008, se procedió a organizar estos resultados de acuerdo al número de citaciones y se revisaron los artículos más citados a través de una lectura rápida de abstracts para de esta manera seleccionar un nuevo grupo de artículos.

8. Los artículos seleccionados a través de las diferentes etapas fueron exportados al gestor de citas ENDNOTE para conformar la base de datos.

Para realizar la búsqueda en revistas de alto impacto de acuerdo al Journal Citation Report se siguió el procedimiento que se describe a continuación:

1. Se consultó en la base de datos JOURNAL CITATION REPORT el ranking de las revistas académicas clasificadas en el área: PUBLIC, ENVIRONMENTAL & OCCUPATIONAL HEALTH. Se eligió esta área temática pues no existe un área específica para cada temática específica

Ordenando por el Factor del impacto de las revistas se determinó que las 10 revistas que ocupan los 10 primeros puestos fueron:

Tabla 4. Listado de revistas según factor de impacto

Nombre	ISSN	Factor de impacto 2011
Epidemiologic Reviews	0193-936X	7,583
Environmental Health Perspectives	0091-6765	7,036
International Journal of Epidemiology	0300-5771	6,414
Epidemiology	1044-3983	5,566
Annual Review of Public Health	0163-7525	5,451
American Journal of Epidemiology	0002-9262	5,216
Journal of Toxicology and Environmental Health-Part B-Critical Reviews	1093-7404	4,725
European Journal of Epidemiology	0393-2990	4,713
Bulletin of the World Health Organization	0042-9686	4,641
Journal of Clinical Epidemiology	0895-4356	4,271

2. Se utilizó la herramienta A to Z de Ebsco para determinar en qué base de datos se encuentran disponibles estas revistas, una vez ubicadas las revistas se realizó la búsqueda el mismo término y los limitadores establecidos para las otras búsquedas.

3. Se seleccionaron los artículos pertinentes y se exportaron a EndNote para obtener una base de datos de 142 documentos para el tema de salud pública y salud ocupacional y 150 documentos para el tema contaminación ambiental después de eliminar la bibliografía repetidas en cada base de datos y verificar que en las dos bases de datos no existen documentos repetidos. En la base inicial de información científica se incluyeron 292 documentos

Una vez finalizada la recopilación de documentos científicos se inició la búsqueda de documentos técnicos en organismos internacionales y nacionales relacionados con el tema. De esta revisión se incluyeron 45 documentos así:

- Documentos que contenían modelos de intervención en salud pública, ambiental, y ocupacional.
- Documentos que contenían propuestas para implementar actividades de mitigación y metodologías para la evaluación de las intervenciones

Para esto se tomó como referencia los principales organismos internacionales sobre el tema, revisando las páginas oficiales y documentos técnicos incluidos en estas páginas web entre las cuales se encuentran:

- Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos
<http://www.epa.gov/mercury/>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry – Redirect Agency for Toxic Substances and Disease Registry – Redirect
<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts46.html>.
- Organización Mundial de la Salud :<http://www.who.int/es/>
- Proyecto global mercurio:
http://www.globalmercuryproject.org/front_page.htm
- Proyecto Mercurio Colombia:
proyectomercuriocolombia.com/mercurio/INICIO.html.
- Programa de las Naciones unidas para el Medio Ambiente:
<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/tabid/434/Default.aspx>.
- Política de mercurio <http://mercurypolicy.org/>.

- <http://www.zeromercury.org/>
- <http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/envIRON/merc-eng.php>
- Ministerio de Salud y Protección Social Colombia <http://www.minsalud.gov.co/>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Colombia <http://www.minambiente.gov.co>
- Corporación Autónoma Regional del Valle <http://www.cvc.gov.co/>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca <http://www.car.gov.co>

4.1.3. Evaluación de calidad de los documentos

Para determinar la calidad de los documentos a incluir en la revisión sistemática se consideraron los siguientes elementos de evaluación

- Para los artículos originales: iniciativa STROBE (20) (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology), permite evaluar la calidad de los estudios observacionales (cohortes, casos y controles y transversales)
- Para las revisiones sistemáticas de la literatura: programa de lectura crítica CASP (21) (Critical Appraisal Skills Programme) desarrollado por el grupo Oxford para la evaluación de las revisiones sistemáticas. Posteriormente se usó el STROBE para realizar la lectura crítica.
- Para los documentos de revisión y propuestas de intervenciones: se evaluaron por medio del análisis de prioridades que propone la metodología de planificación integral (22).

4.1.4. Análisis y presentación de resultados

Se presentaron a partir de un análisis descriptivo que considera los hallazgos mas relevantes en salud humana, ocupacional y ambiental así como de la evidencia normativa, las fuentes de emisión de mercurio y los planes y programas existentes que contribuyen a remediar la problemática

4.1.5. Interpretación de los resultados

Los siguientes temas fueron objeto de discusión y conclusiones:

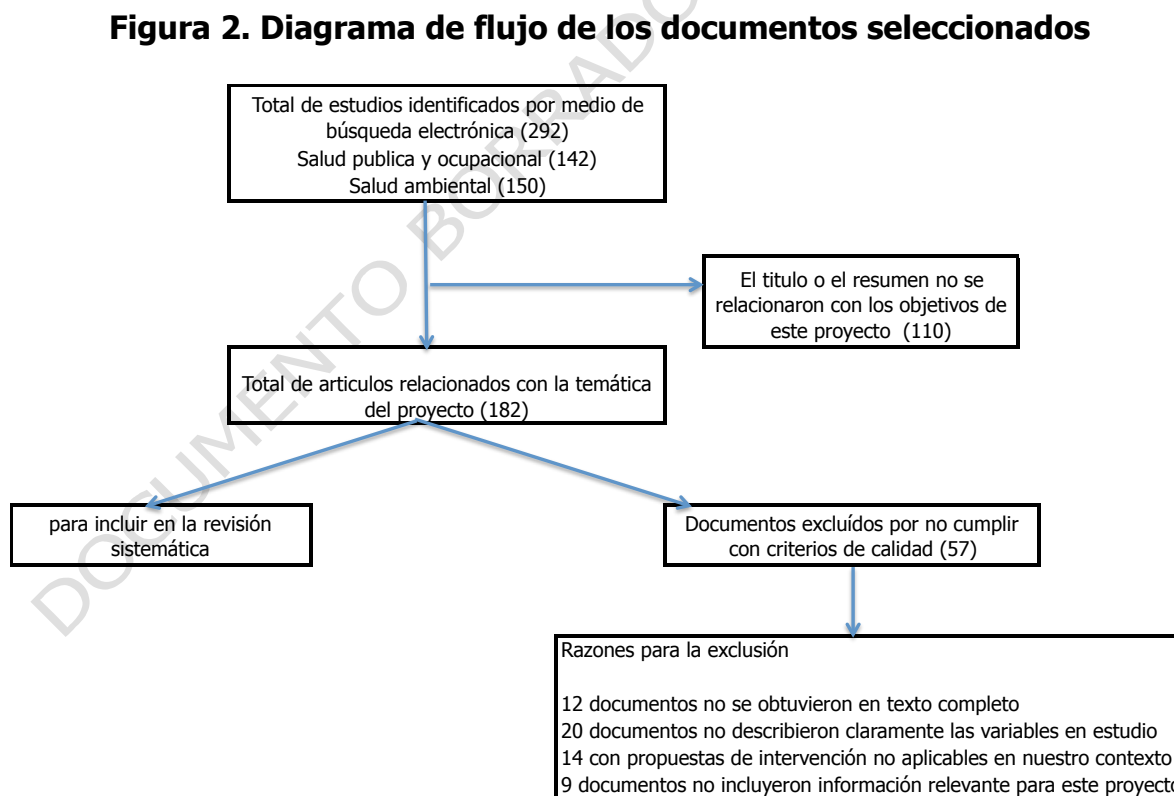
- La solidez de la evidencia
- La suficiencia de la evidencia existente
- La aplicabilidad de las propuestas de intervención en el contexto Colombiano
- La identificación de acciones prioritarias
- Las necesidades de investigación a nivel nacional

DOCUMENTO BORRADOR CONFIDENCIAL

5. RESULTADOS

El presente capítulo contiene los resultados de la revisión bibliográfica que sustenta la primera fase de este proyecto. Los resultados se presentan de acuerdo a los siguientes componentes: 1) estado del arte de los efectos del mercurio en la salud humana, la salud ambiental y ocupacional, 2) el marco legal existente sobre la problemática del mercurio a nivel nacional, 3) el inventario de emisiones de mercurio en Colombia y 4) los planes y programas existentes en el contexto internacional y nacional.

Se identificaron en total 292 documentos potenciales a incluir. De estos, 142 documentos correspondieron al tema de salud pública y ocupacional y 150 relacionados con salud ambiental. De acuerdo a los criterios de selección, títulos y resúmenes 110 se consideraron sin relación con los objetivos de este proyecto. Después de realizar evaluación de calidad y pertinencia se excluyeron 57 documentos. La figura 2 presenta el diagrama de flujo de la selección de documentos:



5.1. ESTADO DEL ARTE DE LOS EFECTOS EN SALUD, EFECTOS AMBIENTALES Y EFECTOS OCUPACIONALES DE LA EXPOSICIÓN AL MERCURIO

Diversas investigaciones han estudiado los efectos en salud debidos a la contaminación ambiental. Exposiciones a contaminantes criterio y metales pesados, entre esos el Mercurio, han sido asociados con incrementos en la morbilidad y mortalidad en el hombre en diferentes lugares del mundo, convirtiéndose en un importante problema de salud pública 

Rutas y vías de exposición:

Las fuentes naturales o antropogénicas emiten Mercurio al agua, aire, alimentos y suelo, teniendo de este modo diversas rutas de exposición tales como el aire que se respira, el agua para consumo y los alimentos, cuyas vías de exposición son la inhalación, ingestión y contacto dérmico (1). Sin embargo, la vía de exposición depende de la forma en que se encuentre el Mercurio. En el caso del Mercurio elemental la vía principal es la inhalación, pues cerca del 80% de los vapores inhalados son absorbidos por los tejidos pulmonares (23). Mientras que para el metilmercurio o Mercurio orgánico, la principal vía de exposición es la ingestión (prioritariamente por consumo de comida de mar). En esta última, se conoce que aproximadamente entre el 94-95% del metilmercurio ingerido en el pescado es absorbido por el tracto gastrointestinal (24) 

Usos:

El Mercurio se usa en la actualidad en productos vacunas que contienen timerosal, cremas para aclarar la piel, termómetros, pilas, usos ocupacionales como amalgamas dentales y para la extracción de oro y en lugares como refinерías, centros crematorios y producción de metales reciclados. 

En las vacunas, se encuentra por el uso del timerosal  como preservante, el cual evita la contaminación por bacterias (25). Evaluaciones de los efectos en salud por exposición a timerosal han encontrado que a dosis muy altas  los efectos son neurotoxicidad y nefrotoxicidad, pero el único peligro establecido a dosis bajas (las que se encuentran en las vacunas) es una reacción de hipersensibilidad retrasada . Pese a lo anterior, el metilmercurio (compuesto similar al timerosal),  ha sido asociado en algunos estudios con anormalidades del neurodesarrollo a bajas dosis de exposición, lo que sugiere que la neurotoxicidad también puede ocurrir a bajas dosis de timerosal; sin embargo tales efectos no han sido reportados con timerosal (26). 

 En la minería el uso indiscriminado del Mercurio como amalgama para recuperar el oro, ha causado efectos en diferentes aspectos, tales como destrucción de los recursos no renovables, concentraciones de Mercurio sumamente altas en los

alrededores, contaminación de ríos y peces, efectos en salud en mineros, familiares, vecinos y población expuesta directa e indirectamente. La principal exposición en mineros ocurre durante la quema de la amalgama, de donde se absorben vapores, los cuales generan dificultades respiratorias, bronquitis, neumonitis intersticial y lesiones en la mucosa respiratoria (27).

Se ha calculado que el Mercurio se puede depositar a distancias aproximadas de 100 a 1000 kilómetros de su fuente (28), contaminando aire, agua y alimentos que son consumidos en todo el territorio (29). Colombia no es ajena a la problemática, y contrario a eso el país enfrenta una situación más grave, pues la minería formal e informal ha generado concentraciones riesgosas para la salud (12, 30).

Según un informe de las Naciones Unidas el cual fue citado en el documento Minería de hecho en Colombia, en el país se encuentra el nivel de Mercurio en aire y agua más alto del mundo, evidenciando que las concentraciones superan 1.000 veces los límites de exposición crónica en Antioquia, específicamente en Segovia, Remedios, Zaragoza, El Bagre y Nechí. A pesar de ello, se debe evaluar de manera crítica la metodología usada para la medición, y posteriormente se requiere la confirmación de dicha evaluación y comparación.

5.1.1. Salud pública

El contacto con Mercurio se ha asociado con efectos en la salud, inclusive a niveles de exposición considerados como seguros. Los posibles efectos adversos dependen de la concentración, tiempo y susceptibilidad del receptor, pero se reflejan en el crecimiento del feto, función neurológica y comportamental y sistemas cardiovasculares e inmunológicos (8). Además, puede manifestarse con síntomas como sabor metálico en la boca, espasmos intestinales, diarrea, vomito, problemas respiratorios, reacciones alérgicas cutáneas, temblores, inestabilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria y audición, cambios en el sistema neuromuscular, dolores de cabeza, dolor articular, disminución de la agudeza visual y falta de coordinación, entre otros (23, 27).

De acuerdo con el tiempo y niveles de exposición es posible determinar que exposiciones agudas (corto tiempo, generalmente días, horas o minutos) a altos niveles de concentración puede causar lesiones pulmonares, náusea, vómitos, diarrea, fiebre, aumento de la presión sanguínea o del pulso, reacciones alérgicas cutáneas e irritación ocular, cefalea, temblores e inestabilidad emocional (31). Por otro lado, exposiciones crónicas (largos periodos de tiempo, generalmente años) en concentraciones altas han sido relacionadas con efectos en el tracto

gastrointestinal, sistema respiratorio, sistema cardiovascular, tiroides, riñones, funciones de órganos reproductivos y desarrollo del feto (27, 29, 32). Por último, los riesgos de exposiciones crónicas en dosis más bajas se han asociado con alteraciones del peso y talla al nacer, edad gestacional, desarrollo neurológico, coeficiente intelectual, rendimiento, capacidad visual-motora y fina, alteraciones en pruebas cognitivas como memoria y habilidades verbales en niños, enfermedades cardiovasculares en adultos y depleción del sistema inmunológico entre otros, sin embargo continua el debate debido a la inconsistencia en los resultados (8, 32).

Población vulnerable:

Los efectos asociados a la exposición a **Mercurio**  han manifestado principalmente en mujeres embarazadas y niños, dado a su condición biológica. La fragilidad de los niños se debe a que estos tienen diferencias en el metabolismo, dieta, patrones de comportamiento, crecimiento y cambios orgánicos y funcionales, comparado con los adultos (33).

Según la FAO la exposición a Mercurio prenatal genera mayores efectos en el neurodesarrollo, sin embargo se evidencia que tal vulnerabilidad se extiende hasta la adolescencia, aunque no hay evidencia suficiente para concluirlo (33).

Además de la condición biológica, se encuentran poblaciones vulnerables por tener mayor probabilidad de exposición, tales como personas que trabajan directamente con Mercurio como mineros y odontólogos e individuos que consumen alimentos contaminados como pescadores, indígenas o personas que viven en las riveras del mar o ríos. 

Dado lo anterior, se reconocen como grupos vulnerables las mujeres embarazadas, fetos y niños y personas expuestas directamente al Mercurio como: Personas que trabajan con oro, entre ellos: mineros (extraen), quemadores de la amalgama, transportadores y vendedores; personas del área de la salud, como: odontólogos, higienistas dentales, médicos y enfermeras que manejen instrumentos que contengan Mercurio; personas que vivan o trabajen en lugares con aire, agua o alimentos contaminados y población que consuma alta cantidad de peces o mamíferos marinos. 

Límites permisibles:

En la literatura se encuentran diferentes límites permisibles los cuales son comparados con las concentraciones calculadas en cada estudio, tales límites son basados en investigaciones representativas y son recomendados por organizaciones reconocidas internacionalmente tales Organización Mundial de la Salud (WHO), la Agencia para la Protección del Ambiente de Estados Unidos (EPA),

la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR), el Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS), entre otros.

Se encuentran límites de referencia según la edad (34) y según el efecto en salud que se esté investigando (24), sin embargo para Colombia rigen límites generales o de acuerdo al tipo de exposición (general u ocupacional). En la tabla 5 se evidencia que existen diferencias en las recomendaciones del Instituto Nacional de Salud y del Ministerio de Salud y Protección Social. Adicionalmente, se encuentra que en algunos casos el límite no corresponde a un valor, sino a un rango, generando de esta forma ambigüedad en la interpretación y con ello mala clasificación, disminución en los reportes, resultados erróneos en la evaluación de asociación con efectos en salud, entre otros. 

Tabla 5. Límites permisibles en matrices biológicas para Colombia 

Matriz	Ministerio de Salud y Protección Social			Instituto Nacional de Salud		
	Límite	Observaciones	Referencia	Condiciones de exposición	Límite	Referencia
Sangre	<= 20µg/L	Expresado como Mercurio total	Centro Toxicológico de Quebec (CTQ) 2011	Sin exposición ocupacional	5 - 10 µg/L	OMS 2003
				Con exposición ocupacional	15 µg/L	TLV-ACGIH, EE.UU 2011
Orina	<= 50 µg/L	Expresado como Mercurio total	CTQ 2011	Sin exposición ocupacional	<= 10 µg/L ó <5 µg/g creatina	OMS 2003
				Con exposición ocupacional	35 µg/g creatina	TLV-ACGIH, EE.UU 2011
Cabello	<= 5 µg/L	Expresado como Mercurio total	OMS 2011	Sin exposición ocupacional	1 - 2 ppm ó (µg/g)	International Program Chemical Safety (IPCS-UNIDO) 2003

Tomado de: Ministerio de Salud y Protección Social (35), Instituto Nacional de Salud (36)

Los límites de referencia ambientales encontrados para Colombia se resumen en la Tabla 6:

Tabla 6. Límites permisibles en matrices ambientales para Colombia

Matriz	Tipo	Límite	Observación	Referencia
Agua	Potable	0,001 mg/L		Resolución 2115/07
	Uso pecuario	0,01 mg/L	Agua para uso pecuario	Decreto 1594/84
	Residual	0,01 mg/L	Vertimiento a red de acueducto	Resolución 3957/09, Bogotá
	Residual	0,00025 mg/L	Vertimiento a corriente principal	Resolución 3956/09, Bogotá
Aire	Exposición no laboral	0,001 mg/m ³		EPA
	Zonas urbanas	10-20 µg Hg/m ³ ar		Decreto 602/1998
	Zonas suburbanas	6 µg Hg/m ³ ar		Decreto 602/1998
	Límite máximo permisible	< 1 µg/m ³	Mercurio inorgánico 1 año de exposición (Norma de calidad del aire o Nivel de inmisión en condiciones de referencia)	Resolución 610/10 Colombia
	Lugar de trabajo	0,025 mg/m ³		ACGIH/EE.UU 1994
Alimentos	Consumo humano (Hg orgánico)	1,6 mg(Kg P.C.	Consumo máximo semanal de Hg orgánico	FAO/WHO 2007
	Consumo humano	5 µg/Kg P.C.	Consumo máximo semanal de Hg total	FAO/WHO 2007
	Pescado	0,5 µg de Hg/g	Límite máximo de metilmercurio en pescado no depredador para consumo humano	Codex Alimentarius

Tomado de: Ministerio de Salud y Protección Social (35)

Características de las investigaciones realizadas:

Investigaciones realizadas han generado evidencia importante para determinar la asociación entre la contaminación por Mercurio y efectos en salud, sin embargo se han usado diversos diseños, poblaciones, unidad de medida y metodología de análisis, generando de esta forma resultados heterogéneos.

De acuerdo al tipo de estudio, se encuentra que han sido abordados con diversos diseños como ensayos clínicos (8), cohorte (37-40), casos y controles (41-43), prevalencia (30, 44, 45) y revisiones sistemáticas (8, 46-49). Sin embargo, la decisión de tal selección se debe a la disponibilidad de información, alcance de la investigación y aspectos éticos.

En cuanto a las exposiciones, por lo general se tienen en cuenta concentraciones ambientales y biológicas de Mercurio. Las niveles ambientales son medidos en agua, aire y alimentos (peces, mamíferos marinos y semillas), mientras que los niveles biológicos (biomarcadores) se evalúan en sangre, cabello, uñas, orina y en sangre y tejido de cordón umbilical (8, 29, 39, 50). Sin embargo, se ha probado que el biomarcador mas preciso en embarazadas es la sangre de cordón umbilical, seguido por el tejido de cordón, los cuales proveen una mejor precisión que el pelo de la madre (51). Por su lado, para la población general expuesta a bajos niveles, se recomienda la evaluación en uñas, sangre y cabello (8), aunque la concentración de Mercurio de ésta última es irreversible, por lo tanto puede ser usada como exposición histórica o acumulada hasta el momento (24). Así mismo, para población expuesta a altos niveles de vapor de Mercurio se recomienda la medición en la orina (36).

En algunos casos se han unido datos de diferentes estudios que han usado diferentes biomarcadores, razón por la cual se calculó la razón cabello:sangre, la cual ha sido usada internacionalmente, tal razón es 250:1, aunque puede ser afectada por diferentes variables dando lugar a estimaciones que van desde 190:1 a 370:1 o más (24).

Los resultados de la exposición son asociados con efectos adversos en la salud que han sido evaluados con diversos instrumentos entre los cuales se destacan el protocolo de neuroepidemiología de la OMS (41), pruebas neurológicas, evaluación neurocomportamental con el Q-16 (42), test de Folstein (42), desarrollo neonatal, test de coeficiente intelectual (40), encuestas de nutrición (consumo de pescado), diagnósticos de autismo, indicadores de desarrollo (edad de la primera vez que caminó y habló), volumen del cerebro, Escala de aptitudes niño McCarthy para el índice de rendimiento cognitivo general (GCI), memoria y capacidad motora, lenguaje, comprensión verbal y auditiva y la identificación de letras, pruebas de

rendimiento Woodcock-Johnson, Test Neurológico de Denver (DDST-R), entre otros (8, 29, 41, 43, 52, 53).

Además de la medición de la exposición y del efecto, se tienen en cuenta covariables como: sexo, raza, peso al nacer, la puntuación APGAR, edad en que se realizan las pruebas, historia médica, edad de la madre, el consumo de alcohol y tabaco de la madre, antecedentes médicos, nivel educativo, estrato socioeconómico, el lenguaje utilizado en el hogar, la ocupación materna y paterna y el número de niños en el hogar. 

Para el análisis de la información se han usado diferentes metodologías como: estadísticas descriptivas, correlaciones (39), análisis espacial (47), modelos de regresión lineal, logística, Weibull y de Cox (38), modelos de ecuación estructural (50), modelos aditivos generalizados, modelo bayesiano jerárquico (40), entre otros.

Tales investigaciones se han enfocado principalmente en poblaciones vulnerables como mujeres embarazadas con sus fetos (y en gran parte de estos estudios se hace seguimiento a estos niños hasta por 9 años), niños, pescadores, mineros, odontólogos y en población general, principalmente con alta exposición a Mercurio por consumo de pescado o mamíferos marinos.  adicionalmente, se han estudiado casos de poblaciones donde han ocurrido incidentes de exposición a altas dosis del metal tales como Minamata (Japón), Iraq y Perú, los cuales han generado evidencia concluyente de los efectos en la salud debido a exposición a Mercurio. Un ejemplo de esto, es la enfermedad de Minamata (envenenamiento por metilmercurio), descubierta por primera vez en 1956 en el primer brote de envenenamiento por metilmercurio que se documentó de manera completa (4).

Resultados encontrados:

Los efectos en salud asociados a la exposición de Mercurio, han sido encontrados en diferentes magnitudes en distintos lugares del mundo. A continuación serán presentados tales resultados, citando las investigaciones más importantes de acuerdo a la distribución espacial.

Investigaciones a nivel internacional

Investigaciones realizadas en República de Seychelles, Nueva Zelanda e Islas Faroe han sido representativas y han servido de ejemplo en el análisis de la asociación de exposición a Mercurio y efectos en salud. Además, han generado nuevas opciones que han sido reglamentadas como límites permisibles.

En estos países, los estudios han sido de tipo longitudinal, en los que se han evaluado respuestas neurológicas, psicológicas y comportamentales de niños cuyas

madres consumieron cantidades relativamente altas de pescado durante el embarazo. Lo más importante de estos estudios es que la exposición fue a través del pescado, que es la ruta de mayor interés en las poblaciones humanas. Además que los tamaños de muestra son considerablemente altos y el seguimiento se realizó por periodos prolongados (hasta 9 años), razón por la cual han podido realizar diferentes análisis, entre ellos la dosis de referencia (52-54).

Para el caso de la República de Seychelles, se realizaron diferentes estudios con el mismo propósito en dos cohortes de 789 y 740 parejas madre-niño entre 1981 y 1998. El último estudio, fue el más representativo, en este se midió Mercurio en cabello materno y se encontraron niveles entre 0,5 y 26,7 ppm, con una mediana de 5,9 ppm. La cohorte fue seguida por 66 meses, con evaluaciones en cuatro períodos críticos: a los 6,5 meses de edad realizada por Myers et al en 1995 (24) a los 19 y 29 meses realizada por Davidson et. al. en 1995 (24) y a los 66 meses realizada por Davidson et. al. en 1998 (55). Se aplicaron pruebas cognitivas, de lenguaje, de memoria, atención visual, examen neuromotor, comportamiento, aprendizaje y respuestas controladoras. Los resultados evidenciaron que no existía asociación entre las variables estudiadas.

Posteriormente se realizaron nuevos análisis con estos datos pero no han encontrado asociaciones (37, 56). Estos datos también fueron usados para calcular la dosis de referencia o Benchmark (BMD) para cada prueba o efecto en salud analizado. El valor medio de la BMDL en 144 análisis fue de 25 ppm de Mercurio en el cabello materno, con un rango de 19 a 30 ppm (52, 54).

En Nueva Zelanda se realizó un estudio entre 1982 y 1983 con 11.000 parejas madre-hijo, se realizaron dos evaluaciones después del nacimiento. En la primera evaluación, realizada a los 4 años de edad, los autores concluyeron que los niños nacidos de madres con niveles de Mercurio en el cabello por encima de 6 ppm tienen el doble de riesgo de retraso en el desarrollo, en comparación con el grupo control (madres con niveles por debajo de 6ppm), según pruebas realizadas con el Test de filtro de desarrollo de Denver (DDST). En la segunda evaluación, realizada a los 6 o 7 años de edad, se concluye que los efectos del metilmercurio que lleva a retrasos en el desarrollo, posteriormente puede dar lugar a deficiencias en pruebas psicológicas. El valor BMDL en este estudio fue 7,4 a 10 ppm según la prueba realizada. 

Por su lado, los estudios realizados en las Islas Faroe entre 1992 y 2000, han mostrado una sutil relación entre la exposición a Mercurio en la madre y el déficit de desarrollo en los niños a los 7 años de edad, tales como anomalía de memoria, atención y lenguaje (24).

Posteriormente, en 2007 se realizó un estudio en el que integraron los datos de los tres estudios con el propósito de establecer la relación dosis-respuesta entre exposición a Mercurio prenatal y coeficiente intelectual (IQ). En este se determinó que hay una reducción de 0,18 (-0,18) puntos en el IQ por cada aumento de ppm de Mercurio del pelo de la madre (IC 95%= -0,378 -0,009) (40).

En países como Estados Unidos, Japón y Alemania se han estimado los niveles de Mercurio en la población general (57). Uno de los estudios realizado en Estados Unidos entre el 2003 y 2008 tomó mujeres de todas las edades, en las cuales se determinaba la concentración de Mercurio en sangre y simultáneamente se les aplicó la encuesta nacional de salud NHANES (58). Este estudio encontró niveles de Mercurio más bajo en mujeres embarazadas que en no embarazadas (0,69 y 0,82 respectivamente). En mujeres embarazadas se encontró que los niveles incrementan con la edad, los niveles eran más altos para las mujeres que no tienen embarazos previos (0,88 mg/L) que para las mujeres con uno o más embarazos anteriores (0,63 mg/L), y que las México-Americanas tienen niveles más bajos de Mercurio que las negras no hispanicas (0,56 y 0,76 respectivamente). 

Por último, en los Estados Unidos en el 2007 se realizó una revisión documental que evaluaba los efectos de la exposición a metilmercurio y posteriormente sacando una conclusión en consenso (57). Se encontró que el consumo de pescado total no es una variable adecuada para la medición de la exposición, se recomienda medir la especie, frecuencia y cantidad de consumo. Adicionalmente, se recomienda tomar medidas en salud pública que sugiera el consumo prudente de determinadas especies de peces, debido a que hay evidencia suficiente de efectos neurológicos, pese a que aun haya incertidumbres al respecto. Recomiendan realizar más investigaciones para aclarar la asociación con enfermedades cardiovasculares y sistema inmunológico, la interacción con otros contaminantes, factores que influyen en la absorción y toxicidad y estudios que relacionen la medición de metilmercurio y Mercurio inorgánico en uñas, pelo, sangre y orina.

Exposición a concentraciones bajas:

En contraste a lo anterior, también se encuentran investigaciones que muestren los efectos en salud por bajos niveles de exposición, tal es el caso de la revisión sistemática llamada "Evidencia sobre los efectos en la salud humana por exposición en bajos niveles de metilmercurio", realizada por Kanagas at al. en 2012 (8). Este estudio evalúa la exposición a bajos niveles de metilmercurio con efectos en el crecimiento fetal e infantil, efectos neurocognitivos y comportamentales, cardiovasculares e inmunológicos. De donde se concluye que según el crecimiento fetal e infantil, se encuentra asociación con peso al nacer y

edad gestacional, donde mujeres que dieron a luz antes (<35 semanas) eran más propensas a tener niveles más altos de Mercurio en cabello que las mujeres con parto a término (OR:3,0 IC=1,3-6,7). Sin embargo, los efectos son inconsistentes, debido a la existencia de estudios donde estas asociaciones no son significativas. Además de estas variables se ha examinado tamaño al nacer y circunferencia de cabeza. Dado lo anterior, se requiere más investigación debido a la existencia de resultados mixtos.

A continuación se siguen describiendo los resultados de la investigación realizada por Karagas et al. (8):

De acuerdo a los efectos neurocognitivos y comportamentales se evidencian efectos diferenciados de acuerdo a la edad. En recién nacidos se encontró asociación con la función motora neonatal y desarrollo y con menor volumen del cerebro, pero después de los 6 meses los efectos son inconsistentes. En niños de 3 a 6 años, la exposición al Mercurio prenatal se ha asociado con el desarrollo neurológico adverso posterior, PDI, coeficiente intelectual, menores puntuaciones en pruebas de vocabulario, y la capacidad visual-motora a los 3 años de edad y peores resultados cognitivos como memoria y habilidades verbales a los 4 años de edad. Sin embargo cuando no se ajusta por consumo de pescado, los resultados son inconsistentes o incluso hasta contradictorios (beneficio de exposición). En niños de 7 a 14 años y adultos los resultados son inconsistentes, con efectos adversos, sin efecto, o incluso con efecto protector. En los primeros la asociación se realizó con coeficiente intelectual, rendimiento, memoria, funciones ejecutivas, y habilidad motora visual-motora y fina, mientras que en los adultos fue con la destreza y velocidad fina, memoria o no respuesta.

En cuanto a los efectos cardiovasculares se encontraron resultados inconsistentes, las investigaciones incluidas tuvieron en cuenta asociaciones con infarto de miocardio, hipertensión arterial, variabilidad de la frecuencia cardíaca y arteriosclerosis. Cabe resaltar que en un estudio se percibió que el riesgo de infarto agudo de miocardio y la mortalidad por cardiopatía coronaria y enfermedad cardiovascular es 2 veces mayor con un incremento de Mercurio en el pelo ($>2\mu\text{g/g}$).

Por último, se establece que no es posible concluir a cerca de los efectos en el sistema inmunológico, debido a que no hay suficientes estudios o no están realizados correctamente. En este aspecto se han tenido en cuenta factores como neurotoxicidad, incluyendo incremento de la frecuencia de anticuerpos antinucleares, cambios en los niveles de secreción de citoquinas y marcadores de activación de los linfocitos, además con riesgo de infección de malaria en poblaciones muy expuestas (mineras) y dermatitis atópica.

Investigaciones en América latina

En América latina, específicamente en Ecuador, Bolivia, Guyana Francesa y Brasil, se realizó una revisión sistemática llamada "Niveles de Mercurio en cabello en población Amazónica. Distribución espacial y tendencia" (47) la cual tenía el objetivo de establecer la distribución espacial del Mercurio y efectos en salud. Con ella fue posible establecer que el principal factor de riesgo de exposición es el consumo de pescado. Se encontraron niveles de Mercurio en cabello entre 1.1 a 34.2 $\mu\text{g/g}$, de donde surge que la mayoría de las poblaciones en el amazonas sobrepasan los límites. Sin embargo, no es posible concluir sobre la relación entre Mercurio en cabello e impactos en salud en el amazonas debido al insuficiente número de estudios. Por último, concluyen que no se evidencia una tendencia espacial obvia y existen muchas áreas que nunca han sido estudiadas.

En Perú, en Choropampa en el año 2000 (23), se produjo un derramamiento de 151 Kg de Mercurio elemental que afectó a más de mil campesinos y produjo efectos tales como: sabor metálico en la boca, problemas respiratorios, alergia cutánea, así como temblores, labilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, cambios en el sistema neuromuscular, dolores de cabeza, dolor lumbar y articular. Posteriormente, en esta población se realizaron evaluaciones a población expuesta, mineros y casas del lugar de los hechos, encontrando que los mineros tenían niveles de Mercurio en orina muy elevados (superior a 50 $\mu\text{g/L}$) y en los hogares se determinó que 7 de 18 casas del lugar tenían niveles de vapor de Mercurio por encima de la norma (0,3 $\mu\text{g/m}^3$ según la EPA).

Se estableció que la intervención en este caso fue ineficiente debido a la poca experiencia o desconocimiento de la toxicología del Mercurio, la falta de equipamiento y logística. Adicionalmente, Arana en el 2009 considera que en Perú no existen adecuados mecanismos de manejo, control y mitigación del impacto ambiental de la minería.

Antes de este derramamiento (1981 a 1984) se realizó un estudio en Mancora, Perú. En donde evaluaron a 131 parejas madre-hijo, encontrando una concentración promedio (geométrica) en cabello de 7,05 ppm, con un rango de 0,9 a 28,5 ppm. Este estudio identificó una relación significativa entre los niveles maternos en cabello y las medidas de desarrollo infantil o signos neurológicos (59). Por su lado, en una zona minera de Ecuador, específicamente en Nambija, se realizó en el 1998 un estudio transversal para asociar las concentraciones de Mercurio en niños y adultos con la disfunción auditiva neurosensorial. Para ello evaluaron a dos grupos (expuestos y no expuestos) y se encontraron concentraciones en sangre estadísticamente más altas en personas expuestas que en las no expuestas (17,5 $\mu\text{g/L}$ y 3,0 $\mu\text{g/L}$ respectivamente). De acuerdo a las asociaciones con efectos en salud se determina que en los adultos fueron no

significativas, sin embargo en los niños se encontró asociación con la reducción en el umbral de audición en el oído derecho (44).

Investigaciones en Colombia



En el ámbito nacional se encuentran investigaciones realizadas principalmente en Antioquia, la Costa Atlántica y Santander. Tal es el caso de la investigación titulada "Estudio neuroepidemiológico y neurotoxicológico de una población minera con exposición crónica al Mercurio" realizada en 1991 en Suratá, Santander (41). Este estudio fue de tipo transversal, pero tenía como propósito comparar unas poblaciones expuestas (mineras, familiares y vecinos) y no expuesta (general). En estas poblaciones se evaluó el nivel de Mercurio en sangre y en agua tratada y no tratada, posteriormente se asoció con el desempeño neurológico. Los resultados de esta investigación percibieron que la concentración promedio de Mercurio en sangre no superaba la norma, sin embargo existían diferencias estadísticamente significativas entre expuestos y no expuestos. En agua no tratada se superaba en gran medida la norma en los expuestos. De acuerdo a la prevalencia de eventos, se evidencia que fue mayor en el grupo expuesto, sin embargo, no existen diferencias estadísticamente significativas con el grupo no expuesto. Adicionalmente, se encontró asociación de los niveles en sangre y enfermedad extrapiramidales y migraña.

Por su lado, Antioquia, considerado como el departamento más expuesto, ha realizado diferentes estudios, por ejemplo en el 2003 se publicó: "Medición de las concentraciones de Mercurio y controles ambientales en la quema de amalgamas provenientes de la minería" (30), en el cual se enfocaron en trabajadores de compraventas de oro y sus alrededores. Para tal efecto, determinaron las concentraciones de Mercurio en orina de trabajadores y en aire de compraventas y calles de Segovia. Se encontraron niveles 14 veces por encima de la norma para ambientes industriales según la Conferencia Americana de Higienistas Industrial Gubernamental (ACGIH por sus siglas en inglés) donde en 1994 se establece la máxima concentración en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los niveles en compraventas se encontraban entre $192,2$ y $679,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en calles entre $315,97$ y $416,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en orina entre 47 y $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la Orinoquia colombiana en 1999 se realizó un estudio que tenía el propósito de establecer los niveles de Mercurio y la percepción del riesgo en población minera de oro del Guainía (60). Se tomaron dos grupos: 37 expuestos, tomando como expuestos las personas relacionadas directamente con la minería y 28 indirectamente expuestos, correspondientes a familiares y otras personas del lugar. A tales personas se les aplicó una encuesta para determinar la percepción del riesgo y se tomaron muestras de sangre y cabello para establecer el nivel de

Mercurio. Se encontró que el ambiente laboral no es el adecuado, calificado como precario en el estudio. Además se establece una falta de conocimiento del riesgo ecológico y conocimiento inadecuado respecto a los efectos en salud causados por la exposición a Mercurio. Se encontró un promedio de 59,2 $\mu\text{g/L}$ de Mercurio en sangre y de 26,9 $\mu\text{g/g}$ en cabello para la población minera. Por su lado, en la población expuesta al Mercurio indirectamente se hallaron concentraciones promedio de 53,5 $\mu\text{g/L}$ en sangre y de 22,86 $\mu\text{g/g}$ en cabello. En la comparación de los dos grupos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, razón por la cual, los programas de prevención y control no deben estar enfocados sólo en la población minera.

Para finalizar, en la Costa Atlántica el estudio "Mercurio en la Costa Atlántica Colombiana: Factor limitante del desarrollo" hace una revisión de diferentes investigaciones realizadas en esta parte del país, donde evidencia las altas concentraciones de Mercurio en pescado y humanos. Una de las conclusiones más importantes es que la mojarra amarilla, el moncholo y la doncella poseen concentraciones superiores al límite permitido según la OMS (0,5 μg , 1991) (48). De igual manera, se establece que la población con concentraciones más altas de Mercurio son los pescadores, seguidos de los mineros (2). Por último, las investigaciones revisadas encuentran que la exposición a Mercurio se asocian con los siguientes efectos: cefalea, náuseas, lesiones orales, gusto metálico, pérdida de memoria e irritabilidad (2); daño intelectual, cambios emocionales (depresión y ansiedad), alteraciones neurológicas, amnesia, insomnio y temblor en la lengua en mineros (Bagre, Antioquia, Según Tirado, 2000).

En conclusión las investigaciones revisadas han encontrado efectos inconsistentes posiblemente debida a factores tales como la población evaluada, costumbres, biomarcador usado, efectos estudiados o concentraciones encontradas. Han identificado como principal factor de riesgo el consumo de pescado o mamíferos marinos y el efecto adverso en salud más estudiado es el desempeño neurológico, especialmente la motricidad. En cuanto a los resultados no han encontrado diferencias respecto a la edad o género, pero es posible identificar que la población con mayor riesgo son las embarazadas por la susceptibilidad del feto.

Debido a la falta de evidencia, se recomienda realizar más investigaciones para aclarar la asociación con enfermedades cardiovasculares y sistema inmunológico (8), establecer tendencias espaciales (47), determinar interacción con otros contaminantes, factores que influyen en la absorción y toxicidad y estudios que relacionen la medición de metilmercurio y Mercurio inorgánico en uñas, pelo, sangre y orina (57).

En futuras investigaciones se debe tener en cuenta la medición adecuada de consumo de pescado, ya que se encontró que se debe establecer la especie, frecuencia y cantidad de consumo (57). Adicionalmente, se recomienda tomar medidas en salud pública que sugiera el consumo prudente de determinadas especies de peces, debido a que hay evidencia suficiente de efectos neurológicos, pese a que aun haya incertidumbres al respecto (57).

Por su parte en Colombia, existen estudios realizados en diferentes lugares como Santander, la Costa Atlántica, Valle del Cauca y en Antioquia, esta última en mayor proporción, debida a los altos niveles de contaminación del lugar. Tales investigaciones se han enfocado en población minera y relacionada con ella (familiares, vecinos o trabajadores de compraventas). Estos estudios han encontrado niveles exageradamente altos de Mercurio en sangre, cabello, orina, aire y agua (12, 30, 42).

En Colombia al igual que en Perú, no se tienen garantías ni control gubernamental sobre los mecanismos de manejo, control y mitigación del impacto ambiental generado por la minería. Se recomienda evaluar la experiencia en toxicología del Mercurio, el equipamiento y logística de las autoridades ambientales y de salud de los lugares en donde se encuentran las minas de oro en Colombia.

Por último, respecto a los sistemas de vigilancia, se recomienda fortalecerlos, siendo más oportunos, precisos y exhaustivos en la descripción de los síntomas en personas que han sido expuestas al metilmercurio.

5.1.2. Salud ambiental

La contaminación de Mercurio ha impactado niveles locales, nacionales, regionales y globales. Estos impactos pueden ser redireccionados en rangos de acción para cada uno de estos niveles, buscando objetivos relacionados con reducción de los usos, liberaciones y exposiciones.

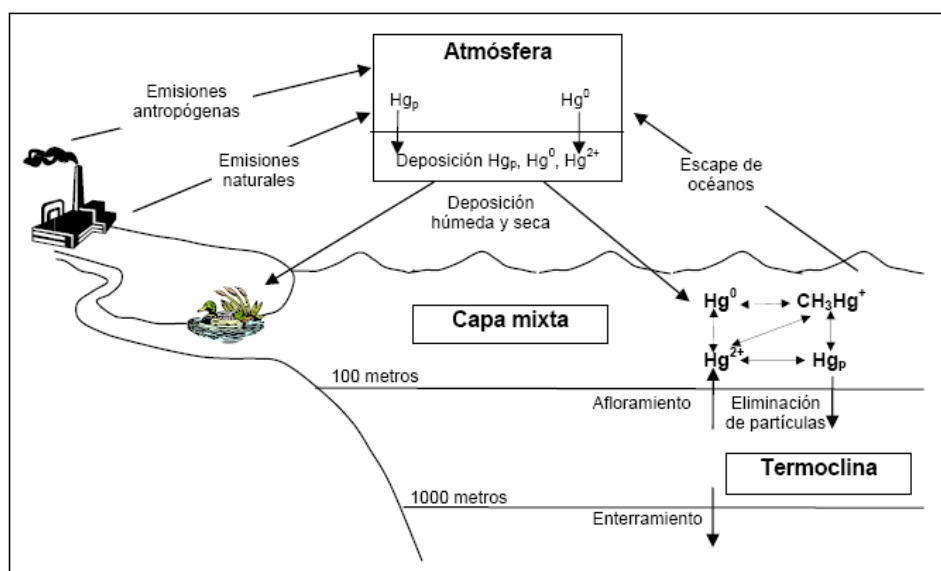
A pesar de que se ha reducido mucho el uso del Mercurio en algunas regiones del mundo, el consumo mundial de Mercurio para usos intencionales en productos y procesos todavía es considerable. Al parecer, las liberaciones al medio ambiente procedentes de esos usos suelen subestimarse, lo más probable debido a la complejidad de tal tarea y a los mayores recursos de investigación que se necesitan para cumplirla.

Es importante comprender que los orígenes de la deposición atmosférica de Mercurio (flujo de Mercurio de la atmósfera a la tierra y a los océanos) son locales

y también hemisféricos o mundiales. Además de las fuentes locales como la industria, la combustión de carbón y la incineración de desechos, las concentraciones generales de fondo que se encuentran en la atmósfera mundial/hemisférica contribuyen considerablemente a la carga de Mercurio de cualquier lugar. De modo semejante, prácticamente cualquier fuente local contribuye a los niveles de fondo. Asimismo, las corrientes oceánicas son medios de transporte de Mercurio a larga distancia y los océanos son importantes sumideros dinámicos de Mercurio en el ciclo mundial.

Las actividades naturales y humanas (antropógenas) pueden redistribuir el Mercurio en ecosistemas de la atmósfera, el suelo y el agua mediante una compleja combinación de movimientos y transformaciones. La siguiente figura ilustra las principales interacciones que ocurren entre los compartimentos ambientales.

Figura 3. Ciclo del Mercurio en el ambiente



Tomado de: PNUMA. Evaluación mundial sobre el Mercurio. Programa de las naciones unidas para el medio ambiente - productos químicos, 2005

El Mercurio es emitido por una variedad de fuentes puntuales y difusas, y luego se dispersa y traslada en el aire, se deposita en la tierra y se almacena en los compartimentos ambientales (agua, suelo y atmósfera) o se redistribuye entre ellos. Por lo tanto, el ciclo y la repartición del Mercurio entre los diferentes compartimentos ambientales son fenómenos complejos que dependen de numerosos parámetros ambientales. Hasta hace poco, se suponía que la

deposición húmeda representaba el principal mecanismo de transferencia de Mercurio y sus compuestos desde la atmósfera hasta los receptores acuáticos y terrestres (4).

Sin embargo, estudios realizados por el Departamento de Protección Ambiental de Florida y el Departamento de Energía de Estados Unidos han demostrado que la deposición seca de especies de Mercurio gaseoso divalente puede ser igual o mayor que la deposición húmeda, aún en zonas climáticas húmedas (4).

La forma química y física del Mercurio en el aire afecta los mecanismos por los cuales se transfiere a la superficie de la tierra y, en última instancia, incide en el flujo deposicional total. Un aumento en las concentraciones de Mercurio del aire ambiente produce un aumento en la exposición directa de los seres humanos y un aumento en el flujo de Mercurio que entra en los ecosistemas terrestres y acuáticos, lo cual provoca una elevación de las concentraciones de metilmercurio en la biota de agua dulce y marina (61).

Una vez en los ecosistemas acuáticos, el Mercurio puede existir en forma particulada ó disuelta y transformarse en metilmercurio mediante procesos químicos o microbianos. Los sedimentos contaminados en el fondo de las aguas superficiales pueden constituir un importante depósito de Mercurio. El Mercurio unido a los sedimentos se recicla entrando otra vez en el sistema acuático durante décadas o más tiempo. En suelo, el Mercurio tiene un largo tiempo de retención y en consecuencia, una vez acumulado puede seguir liberándose a las aguas superficiales y otros medios por largos períodos de tiempo, posiblemente cientos de años (4).

A nivel ambiental la actividad minera es la principal fuente de contaminación (vapor de Mercurio), la siguen entre otras la fundición de metales, la producción de cloro e hidróxido de sodio, la obtención de pinturas y pigmentos, la construcción de equipos eléctricos y baterías, la ruptura y fabricación de termómetros, el uso de equipos médicos y lámparas.

En este punto es importante establecer que todas estas emisiones (antropogénicas) son catalogadas como residuos y en particular peligrosos por la utilización del Mercurio; y para esto el Decreto 4741 de 2005 establece como generador a cualquier persona cuya actividad produzca residuos o desechos peligrosos. Así mismo este Decreto establece como disposición final el proceso de aislar y confinar los residuos o desechos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

Rutas y vías de exposición

El ciclo del Mercurio está basado en su comportamiento en los diferentes medios, en las reacciones químicas implicadas, así como en parámetros de transporte y su destino final. La cantidad de Mercurio presente en cualquier punto de la tierra está en función de:

- El ciclo global natural.
- El ciclo global perturbado por las actividades antropogénicas.
- Fuentes regionales de Mercurio.
- Fuentes locales de Mercurio.

Se estima que los océanos constituyen las mayores reservas de Mercurio, con alrededor de 10g de Mercurio principalmente en forma de HgS. La biosfera, principalmente en forma de biota terrestre, contiene 10g; 10g la atmósfera y 10g las aguas terrestres. En este balance queda excluido el Mercurio presente en minas y otras reservas subterráneas (7).

El Mercurio en la atmósfera

Los procesos que definen el transporte y destino del Mercurio en la atmósfera son: las emisiones, la transformación, el transporte en la atmósfera y la deposición. La emisión puede tener como origen procesos naturales (volatilización desde medios acuáticos y marinos, a partir de la vegetación, la liberación de gases de materiales geológicos y emisiones volcánicas) o antropogénicos (procesos industriales y fuentes de combustión como la quema de carbón).

En la atmósfera, el Mercurio existe en tres formas diferentes; vapor elemental de Mercurio (HgO), compuestos divalentes gaseosos (Hg (II)) y asociado con partículas (Hg (p)). Las tres especies tienen comportamientos y ciclos de vida diferentes. EL HgO, Oxido de Mercurio, conocido también como Mercurio gaseoso iónico o reactivo (Reactive Gaseous Mercury, RGM) es estable con una vida media de 0,5 a 2 años, hecho que favorece su distribución a escala global, viajando largas distancias y permaneciendo en la atmósfera largos periodos de tiempo, pudiendo trasladarse globalmente (de 100 a 1.000 kilómetros de su origen) antes de sufrir alguna transformación. Los Hg (II) y Hg (p) son depositados mas fácilmente sobre áreas y recursos locales a escalas regionales en vías húmedas (recursos hídricos) y secas (Suelos). Las emisiones recientes estimadas de Mercurio global anual de todas las fuentes (naturales y antropogénicas) son altamente inciertas pero se calculan en unas 4.800-8.300 toneladas por año (4).

El Mercurio en los suelos

Una vez depositado en el suelo, las especies (Hg (II)) están sujetas a un amplio abanico de reacciones químicas y biológicas. Las condiciones del suelo (Ph, temperatura, etc) son favorables para la formación de compuestos inorgánicos como HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{OH})_2$ y compuestos inorgánicos encadenados con aniones orgánicos. Estos compuestos son bastante solubles y en consecuencia móviles; suelen formar complejos con la materia orgánica (ácidos flúvicos y húmicos) y arcillas de los suelos. Este comportamiento limita en gran medida su movilidad en los suelos, haciendo que éstos actúen como grandes reservas de Mercurio antropogénico (4, 61).

El Mercurio en Aguas terrestres

El (Hg (II)) y el metilmercurio pueden ser depositados directamente desde la atmósfera por vía húmeda o seca sobre cuerpos de agua terrestre; así como por medio de acción de las lluvias (Hg complejoado a suelo/humus en suspensión). Durante las últimas décadas la contaminación ha alcanzado concentraciones promedio en aguas naturales de 1,5 ng/lit, y la proporción de metilmercurio es generalmente <10% (4, 61).



Control ambiental y biológico de Mercurio

Existen varios procedimientos para la determinación ambiental de Mercurio, los cuales pueden ser sistemas activos o pasivos. La utilización de uno u otro sistema depende del tipo de evaluación que se desea realizar, de las condiciones instrumentales y técnicas disponibles y de la forma en que se encuentre el contaminante. Si se desea medir una concentración puntual pueden utilizarse aparatos de lectura directa (4, 61).

El caso más frecuente es la captación de Mercurio en estado vapor, para lo cual se pueden utilizar tubos absorbentes (hopcalita, dióxido de manganeso, carbón activo, etc.) o monitores pasivos (placas de oro, plata, etc.) que amalgaman el Mercurio (4, 61).

Si se ha captado en tubos adsorbentes, lo más frecuente es determinar el Mercurio mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica y si se han utilizado monitores pasivos se acostumbran a medir variaciones de conductividad eléctrica. Si el Mercurio se encuentra en forma de materia particulada (polvo) su captación se realiza en filtros y su análisis por espectrofotometría de Absorción Atómica. Para la determinación analítica también se pueden utilizar técnicas electroquímicas (Polarografía, Potenciometría de redisolución química).

Muestreo para Mercurio Total Gaseoso

El método de muestreo está basado en la amalgamación de Mercurio con el oro. Con el método de trampa de oro, el Mercurio gaseoso es muestreado por volúmenes de aire controlados (Caudal Continuo) por tubos de cristal de cuarzo, que contienen oro en trozos. Las trampas de oro son analizadas utilizando pirolisis y el Vapor Frío de Espectroscopia de Fluorescencia Atómica (CVAFS) (62).

Muestro para Mercurio Total Particulado

Específicamente para este tipo de muestreo se utilizan filtros de Teflón de membrana, con un tamaño de poro de 0,45 μm . El caudal de muestreo es aproximadamente 10 lt/minuto. El contenido de Mercurio de la solución de digestión es determinado por métodos estándar (EPAMETHOD 1631), el límite de detección es 0,1 pg m⁻³ (62).

Características de las investigaciones realizadas

En el contexto ambiental, y dado el creciente interés del problema del mercurio en el agua se han realizado numerosas investigaciones que se han ocupado de estudiar dicho problema y su relación con la salud humana a través del consumo de pescado contaminado.

A pesar de las bondades del consumo de pescado por la presencia de sustancias esenciales durante las etapas iniciales del desarrollo del cerebro y el sistema nervioso, resulta cada vez más preocupante para los consumidores la presencia de sustancias contaminantes en algunos pescados y productos pesqueros, así como en otro tipo de alimentos. Se sabe que algunos productos pesqueros contienen contaminantes como el metilmercurio (mercurio en su forma más tóxica) o las dioxinas (todos los compuestos análogos a la dioxina) (63).

El metilmercurio es predominante en el tejido de los peces. Las personas que consumen grandes cantidades de peces contaminados con metilmercurio tienen una mayor carga en el organismo que la que no consume pescado. El sistema nervioso humano es un destino sensible para la exposición del metilmercurio, poniendo en mayor riesgo el desarrollo de los fetos y niños pequeños (6).

Es importante tener claridad sobre los riesgos y beneficios del consumo de pescado para brindar la información adecuada a la población que lo consume, puesto que la producción de pescado ha tenido un crecimiento relevante. De acuerdo a los reportes internacionales existe una producción mundial de pescado importante que ha continuado aumentando hasta llegar en 2008 a 142 millones de toneladas aproximadamente, tal aumento se deriva de la producción acuícola, que actualmente alcanza la cantidad de 52,5 millones de toneladas y representa casi 46% de la totalidad de pescado destinado al consumo (63).

Entre el 25 y el 29 de enero de 2010 se realizó la consulta de expertos sobre los riesgos y beneficios en la Sede de la FAO, en Roma (Italia). En dicha consulta participaron 17 expertos en nutrición, toxicología y evaluación del riesgo. En esta reunión se realizó un debate alrededor de los riesgos y beneficios del consumo de pescado. Los expertos convinieron que el consumo de pescado forma parte de las tradiciones culturales de muchos pueblos y puede que no exista ningún otro alimento alternativo asequible fuente de tales nutrientes (64).

Por lo anterior, se han realizado numerosos estudios cuyo interés radica en analizar las concentraciones de mercurio en diferentes especies de peces. Es así como en Indonesia en el año de 2003, se realizó la recolección de peces de dos regiones de minería aurífera: Tatelu -Provincia de norte Sulawesi-y Galangan - Distrito de Katingan, Provincia Central de Kalimantan- donde se encontró que en los peces de agua dulce de la zona de Tatelu en la cual se libera grandes cantidades de mercurio la concentración del metal fue de $0,58 \pm 0,44 \mu\text{g/g}$ ($N=131$) con más de 45% de peces con niveles de mercurio por encima de los niveles permitido para humanos ($0,5 \mu\text{g/g}$) (65).

En otro estudio realizado en Indonesia se determinó la concentración de mercurio en muestras de cabello de residentes y muestras de pescado de las poblaciones de Phnom Penh, Kien Svay, Tomnup Rolork y Batrong. Estas son zonas con altos niveles de exposición a desechos industriales que contienen mercurio (66). La concentración de mercurio encontrada en las personas de las cuatro comunidades de Camboya estuvo en un rango de $0,54$ a $190 \mu\text{g/g}$ de peso seco y el promedio fue de $3,1 \mu\text{g/g}$ (peso seco). No se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio de peces marinos y de agua dulce recolectadas. Sin embargo en especies marinas como el bagre se encontró en magnitud mayor concentración de mercurio que en los otros peces ($0,14$ – $0,96 \mu\text{g/g}$) (66).

En Estados Unidos se realizó un estudio en maternas a las cuales se les determinó el nivel de mercurio en cabello y se realizó una encuesta retrospectiva sobre sus hábitos alimenticios durante los 6 meses previos al inicio del estudio y se encontró que los niveles de mercurio estuvieron en un rango de $0,01$ a $2,50 \mu\text{g/g}$, con un promedio de $0,29 \mu\text{g/g}$ y una mediana de $0,23 \mu\text{g/g}$. Aproximadamente 20% de las mujeres tuvieron niveles mayores a $0,38 \mu\text{g/g}$. A pesar del modesto nivel de consumo de pescado, este estudio muestra una fuerte relación entre el consumo de pescado y los niveles de mercurio en cabello de las maternas. Adicionalmente se encontró que la mayor fuente de consumo de pescado para exposición a mercurio pareció ser el pescado enlatado (67).

En el año de 2009 se realizó un estudio en Cartagena, Colombia para determinar la concentración de mercurio en atún enlatado y se encontró que las concentraciones

de mercurio total en las muestras de atún variaron entre 0,09 y 2,59 ppm ($0,86 \pm 0,09$ ppm), 34% de las muestras analizadas excedió el límite máximo de mercurio establecido por la legislación colombiana (1 ppm), y 59% de las mismas sobrepasó los niveles recomendados por la OMS (0,5 ppm). Los resultados sugieren que el consumo de atún enlatado en la ciudad de Cartagena representa un riesgo moderado para la población en general en términos de exposición a mercurio. Además, los grupos vulnerables (niños, mujeres embarazadas, personas con problemas cardíacos y aquellas que buscan beneficios dietéticos y cardiovasculares) deben limitar su consumo, ya que el riesgo es elevado para estos grupos. Por tanto, el monitoreo constante de los niveles de mercurio en estos alimentos debe implementarse para garantizar la salud de la población (68).

Otros estudios en Colombia también han mostrado que en los sitios donde se realiza explotación minera existen peces con altas concentraciones de mercurio. En 2009 se realizó un estudio en la Ciénaga de Ayapel y en el río San Pedro, zona que presenta minería extensiva de níquel y explotación aurífera. Se realizaron mediciones de nivel de mercurio en peces y se encontró que del total de especies ícticos recolectados (45 en total), 19 (42,2%) superaron la concentración máxima permisible de 0,5 mg/g establecida por la Organización Mundial de la Salud como segura para el consumo humano. 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 mg/g, por lo que el número de especímenes sobre este nuevo límite aumentó a 36 (80%), incluidos especímenes de especies no carnívoras (69).

Adicionalmente, una revisión realizada en el año 2006 en peces dulceacuícolas de Colombia se indica que de acuerdo con los estudios realizados para determinar las concentraciones de mercurio existe una relación directa entre las altas concentraciones en peces con la cercanía a las zonas con influencia directa de vertimientos de aguas de minería aurífera, encontrándose valores críticos en la región de la Mojana y zona del nordeste antioqueño donde casi todas las muestras presentaron valores superiores a la norma de 0,5 mg/g de mercurio.

Adicionalmente las concentraciones de mercurio más altas se encontraron en las especies carnívoras como *Hoplias malabaricus*, *Ageneiosus caucanus* y *Caquetaia kaussi* que se encuentran en la parte alta de la cadena alimenticia. Sin embargo, también se encontraron niveles altos en especies detritívoras como *Triportheus magdalenae* que presentan una acumulación considerable del metal debido a la manera en que estas especies obtienen su alimento de los sedimentos, los cuales presentan niveles altos de mercurio (70).

De otro lado, dado que el consumo de pescado hace parte de las tradiciones culturales de numerosas comunidades, se han realizado estudios con poblaciones indígenas que tienen un alto consumo de pescado con el objetivo de estimar las concentraciones de mercurio en peces y la exposición de la población.

Uno de ellos se realizó en Venezuela en las zonas de asentamientos indígenas El Casabe y El Plomo. Se encontró una alta concentración de mercurio en la especie piscívora payara (2,054 μ g/g). De los análisis de mercurio realizados se concluye que el 46.13% de los peces muestreados presenta niveles promedio de mercurio total en tejido muscular que exceden los valores fijados por la OMS/FAO 0.5 μ g/g (71).

Adicionalmente, en Brasil se encontró que en una población indígena de la Reserva Munduruku, la concentración promedio de mercurio en los peces carnívoros fue de 0,293 μ g/g y de las no carnívoros fue de 0,112 μ gHg/g. Las concentraciones más elevadas de Hg fueron encontradas en las especies de *tucunaré* y *traíra* (carnívoras), las cuales están entre las más consumidas por la comunidad. Dentro de las no carnívoras analizadas, cuyas concentraciones fueron relativamente más bajas, sobresalen las especies *jaraqui* y *aracu*, también de elevado consumo. A pesar que el pescado consumido por la población de *Sai Cinza* está con concentraciones promedio de mercurio por debajo de lo que establece la legislación, la frecuencia de consumo y la cantidad diaria ingerida es un componente esencial en la validación del riesgo de contaminación por mercurio (72).

Cabe resaltar que además de la bioacumulación del mercurio en el pescado, se ha encontrado que también se presenta en otros alimentos de consumo humano como el arroz en China (73) y en ballenas y delfines consumidos en Japón (74) así como en moluscos en Chile (75).

La presencia de Mercurio en los alimentos ha provocado epidemias de gran envergadura a nivel mundial, una de las mayores es la presentada en Iraq donde se realizaba el tratamiento de granos de semilla con plaguicidas. Los compuestos órgano mercurícos primero fueron utilizados como preparaciones de la semilla en 1955 y debido al consumo de granos tratados consumidos por los agricultores y sus familias se presentaron epidemias antes de 1960 y una epidemia grande en el invierno de 1971-1972 en el que un total de 6.530 casos fueron admitidos en el hospital y de esos murieron 459 (76, 77).

Para evitar intoxicaciones causadas por alimentos contaminados por Mercurio es importante monitorear el contenido de mercurio de alimentos de consumo, por ejemplo, en España se han realizado investigaciones para determinar los niveles de

metales pesados en productos como carne y leche de bovinos y carne de porcinos. En uno de estos estudios se pretendió cuantificar las concentraciones de Mercurio en el ganado de dos zonas: una rural y otra industrial y minera. Se encontró que la mayoría de las muestras (79,5-96%) de hígado, músculo y sangre no contienen residuos detectables, en cambio el mercurio suele ser detectado en el riñón (62,4 - 87,5% de las muestras). Las concentraciones de mercurio en riñón fueron significativamente mayores en los terneros de la zona rural que en los animales de la zona industrializada-minera. En general de acuerdo a los hallazgos los valores no parecen ser un riesgo para la salud humana o animal (78).

Otros animales de consumo humano son las tortugas, en países asiáticos las tortugas se han usado como alimento y como medicina (79), en Colombia también se ha reportado su consumo en zonas costeras donde existe un peligro de extinción importante de muchas especies de estos ejemplares (80).

El consumo de tortugas puede ser un riesgo para la salud de las personas de acuerdo a los hallazgos de un estudio realizado en tortugas incautadas en mercados que las vendían para consumo y mascotas. En este estudio se obtuvieron muestras de 14 especies y 6 familias de cuatro continentes incluyendo: 10 especies de Asia, una de Asia Austral, una de Centro América y dos de América. Los valores de Mercurio encontrados indicaron un patrón general de niveles, donde el Mercurio del hígado fue el más alto, seguido del de riñón y de la placa dérmica ósea (caparazón). Cuando se observaron los valores de Mercurio de acuerdo el patrón dietario se encontró que los valores en músculo, caparazón y garras tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de dieta y esos tejidos siguieron el patrón esperado, es decir: el nivel de mercurio en carnívoros fue mayor que en omnívoros y este mayor que en herbívoros.

Los autores además, compararon las concentraciones de mercurio con los límites de consumo desarrollados por la FDA (Agencia de administración de drogas y alimentos) de Estados Unidos para evaluar el mercurio en los tejidos de peces y varias muestras excedieron el consumo recomendado de 1.900 partes por millón como umbral de consumo, indicando que los consumidores que ingieren ciertas especies de tortugas de manera frecuente pueden estar al riesgo de problemas de salud relacionados con el mercurio (79).

Se ha mostrado que existen otros animales de consumo humano con niveles importantes de mercurio, es así como en un estudio realizado en Caribús (*Rangifer tarandus*) en dos regiones del norte de Quebec entre 1994 y 1996, se encontró que del total de muestras tomadas, un 54% de las muestras de hígado y 81% de las muestras de riñón exceden los límites del umbral de consumo de 0,5 partes por millón. Por lo tanto se recomienda que las restricciones sobre el consumo de

hígado y riñones de caribú del Norte de Quebec en el momento del estudio aún debían mantenerse (81).

En otro tipo de alimentos como las setas –*Tricholoma equestre*, conocido como caballero amarillo- que son frecuentemente consumidos en países como Polonia, se ha observado el mercurio acumulado en los cuerpo fructíferos de las setas, estos hallazgos pueden sugerir riesgos en salud para los consumidores ya que en países donde *T.equestre* crece, puede ser consumido por algunos individuos en grandes cantidades (82).

Otros estudios indican que reptiles, particularmente serpientes, pueden ser útiles como bio-indicadores de contaminación por causa de que algunos son relativamente de larga vida, exhiben diferentes niveles tróficos y están en el extremo de la cadena alimenticia.

Esos datos indican que las serpientes de agua acumulan contaminantes de manera diferencial como una función de la ubicación, pueden ser bioindicadores útiles de exposición medioambiental a contaminantes. Además, debido a su amplia distribución geográfica y el uso de diferentes compartimentos de la cadena trófica, este género puede ser útil para realizar comparaciones entre sitios (83).

En general se puede concluir que a nivel nacional existen diferentes entes que tienen acciones específicas en la vigilancia en salud pública del mercurio en el ambiente y de las intoxicaciones por mercurio, para profundizar en el conocimiento de los hallazgos se deben fortalecer los espacios de análisis conjunto para que se tomen las decisiones más acertadas en términos de políticas de intervención en diferentes sectores.

Aunque se ha documentado que el pescado es una fuente importante de mercurio que afecta la salud de los humanos especialmente de grupos vulnerables, la producción y consumo de pescado en nuestro entorno se mantiene, debido a los múltiples nutrientes que este contiene; para minimizar la exposición al mercurio es importante que la comunidad conozca las especies de pescado que representan mayores niveles de mercurio y los de menor nivel para que las personas tomen una decisión acertada frente a cual pescado deben consumir.

Es importante profundizar las razones por las cuales los consultorios e instituciones con atención odontológica no cumplen con los lineamientos nacionales para la disposición de residuos hospitalarios relacionados con el Mercurio 

5.1.3. Salud ocupacional

El Mercurio se ha utilizado en el contexto de la medicina por décadas como un tratamiento para enfermedades como la sífilis, como desinfectante y como material reconstructivo en odontología. A pesar de que recientemente se han emitido ciertas regulaciones para la utilización del Mercurio en la farmacopea, su utilización aún es muy amplia en la medicina tradicional y en otras prácticas de salud.

A nivel ocupacional, se establecen como puntos de partida las trágicas historias ocurridas en Minamata (Japón) en 1960, y en Irak en 1972. En Japón debida al mal manejo de residuos de una industria de aldehídos que utilizaba el Metil-Mercurio como agente catalizador, la cual desechaba sus residuos a la bahía de Minamata, contaminando las aguas y los peces. De otro lado en Irak, 6.350 personas se intoxicaron al consumir harina contaminada con Metil-Mercurio. Las alteraciones que se presentaron en la población desencadenaron la muerte de 65 personas por intoxicación y en Irak se presentaron parestesias, ataxia, disartria y trastornos de la audición.

Teniendo en cuenta que la problemática del Mercurio en ambientes ocupacionales se considera prioritaria, diversos organismos e institutos especializados en la protección de la salud de los trabajadores (Tabla 7) han desarrollado estudios e investigaciones que hacen referencia a las metodologías y procedimientos técnicos que se deben emplear para realizar mediciones de agentes, materiales, sustancias, o compuestos de los lugares de trabajo. Las organizaciones más representativas de los Estados Unidos Americanos son:

La Administración de Salud General y Ocupacional (OSHA), órgano de la Administración federal Americana, encargada del establecimiento de normas legales relativas a la prevención de riesgos y promoción de la salud en el ámbito laboral. Los valores que propone la OSHA se denominan "Límites permisibles de exposición " (PEL) y son los únicos que tienen validez desde el punto de vista legal.

El Instituto Nacional de Salud Ocupacional (NIOSH), institución dependiente de la Administración federal americana que, entre otras actividades, desarrolla y revisa periódicamente recomendaciones para límites de exposición a sustancias o condiciones potencialmente peligrosas en el ámbito de trabajo. Los valores que establece el NIOSH se denominan " Límites de exposición recomendados " (REL) y no tienen valor legal.

La ACGIH, es una asociación con sede en Estados Unidos, que agrupa a más de 3000 profesionales de la Higiene del Trabajo. Los valores que establece la ACGIH se denominan "Umbral de valores límite" (TLV) y se basan exclusivamente en criterios científicos de protección de la salud. Estos valores son sólo unos límites recomendados, pero gozan de un elevado prestigio en el mundo de la Higiene Industrial.

Tabla 7. Organismos legislativos ocupacionales.

Estados Unidos	NIOSH	Relative Exposure Limit (REL)
	ACGIH	Threshold Limit Values (TLVs) & Biological Exposure Index (BEIs)
	OSHA	Permitive Exposure Limit (PEL)
Colombia	Res 2400 de 1989	Threshold Limit Values (TLVs) & Biological Exposure Index (BEIs)
Italia	ACGIH	Threshold Limit Values (TLVs) & Biological Exposure Index (BEIs)
Portugal		
España		
Grecia		

Fuente: Consejo Colombiano de Seguridad

En el contexto ocupacional las intoxicaciones por Mercurio pueden presentarse como eventos agudos, sub-agudos y crónicos. La intoxicación aguda y sub-aguda es muy infrecuente, salvo que se presenten accidentes. Si la vía de penetración es la respiratoria, posiblemente genera una traqueo bronquitis que siempre se acompañan de tos e hipertermia; posteriormente aparece una neumonía difusa y a veces un neumotórax bilateral. Si la vía es por inhalación masiva de vapores, se han descrito algunos casos de mareos, ceguera súbita, espasmos musculares y temblor. Si la vía es dérmica es posible, dependiendo de la solubilidad, la concentración y el estado de la piel, que se presenten inflamaciones locales, eczema alérgico de contacto o irritación de la piel y de manera secundaria posibilidad de insuficiencia renal, alteraciones del aparato digestivo y alteraciones neuro-psiquiátricas o anemias.

La intoxicación crónica es la forma más frecuente en el medio laboral, se conoce comúnmente como Mercurialismo o Hidrargirismo. El síntoma más importante de esta situación es el temblor, que suele iniciarse en la lengua, labios, párpados y dedos de las manos; otros síntomas claros son la transpiración abundante, la inestabilidad emocional, la neurosis secretoria estomacal y la neurosis funcional (84).

La exposición ocupacional por Mercurio más frecuentemente reportada ocurre en la minería y en el contexto odontológico. En estos dos escenarios, se ha realizado numerosos estudios en diversos países así como se han determinado niveles máximos de exposición, lo que refleja el interés creciente por determinar las consecuencias de la exposición ocupacional a Mercurio principalmente a nivel cognitivo (atención, coordinación y memoria entre otras) (84).

A nivel odontológico, los niveles ocupacionales de concentración de vapores de Mercurio permisibles en el ambiente fueron establecidos por la Convención Americana de Higienistas Dentales y por el El Instituto Nacional de Salud Ocupacional (NIOSH) siendo el valor umbral límite (VUL) 0,05 mg /m³ de aire por 8hs diarias, en lugares abiertos máximo durante 5 días a la semana. Una atmósfera saturada de vapor de Mercurio contiene aproximadamente 18 mg Hg/m³ de aire, este es un nivel de Mercurio 360 veces superior a la media permisible (0,05 mg /m³ aire) (85).

A nivel Ambiental, los límites los fijan la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) y la Administración de Drogas y Alimentos de EE. UU (FDA), quienes han establecido un límite para Mercurio en el agua potable de 2 partes de Mercurio inorgánico por billón (ppb) de partes de agua; la EPA recomienda que los niveles de Mercurio inorgánico en ríos, lagos y arroyos no excedan 144 partes de Mercurio por trillón (ppt) de partes de agua (86)

Características de las investigaciones realizadas

Como se mencionó anteriormente, la exposición ocupacional al Mercurio está enmarcada en las actividades desarrolladas por la industria minera (obtención de oro) y por la industria de la salud, en este caso la odontología.

Investigaciones realizadas en esta área se han efectuado en diferentes lugares del mundo, usando diversos tipos de investigación, poblaciones, vías de exposición, marcadores biológicos o ambientales y efectos evaluados. Algunas de ellas se muestran a continuación:

En 2001 se realizó un estudio cuyo propósito fue determinar el estado de las funciones neurocomportamentales en trabajadores de la industria cloroalcalina después de suspender la exposición. Para esta investigación se seleccionaron 49 trabajadores con un promedio de 13 años de exposición a vapores de Mercurio y se compararon con 49 controles pareados por edad. La concentración media de Mercurio en orina para los trabajadores expuestos fue de 9,3 nmol/mmol creatinina/año. En el momento del estudio la población había suspendido la exposición ocupacional 4,8 años atrás. Los resultados de este estudio mostraron que las puntuaciones de las baterías neurocomportamentales aplicadas, así como

los síntomas referidos fueron similares en los dos grupos, excepto para un test de reconocimiento de símbolos. De acuerdo con estos resultados los autores sugieren que no existen efectos adversos por la exposición a vapor de Mercurio por tiempo prolongado, sin embargo, resaltan la importancia de aplicar el test de reconocimiento de símbolos a todos los trabajadores expuestos con el propósito de establecer sujetos con mayor riesgo de generar alteraciones neurológicas y del comportamiento (87).

En el mismo año, se realizó un estudio en Brasil con odontólogos para determinar el efecto de la exposición a vapores de Mercurio en la salud visual. En esta investigación midieron los umbrales de saturación de tonos, modulación cromática y funciones de contraste con diferente intensidad de luz. Se seleccionaron 15 odontólogos y se aparearon con 13 sujetos sanos no expuestos. Se encontró una disminución en la discriminación de los colores así como una reducción en la sensibilidad de contraste a la luz en los odontólogos frente al grupo control a pesar de que la concentración de Mercurio en orina fue baja ($1,97 \pm 1,61 \mu\text{g/g}$ de creatinina). Los resultados de este estudio permiten sugerir que la alteración en la discriminación del color y en las funciones de contraste son indicadores sensibles de efectos neurotóxicos sutiles luego de la exposición a Mercurio (88).

Uno de los estudios más recientes sobre el desarrollo de alteraciones en las funciones cognitivas en trabajadores de salud oral expuestos a Mercurio se realizó en Noruega. En este estudio se incluyeron 91 mujeres con exposición ocupacional a Mercurio, se realizaron diversas pruebas neuropsicológicas como: función motora, memoria a corto plazo, memoria visual y verbal a largo plazo, entre otras. Se estudió la posible relación entre el nivel de exposición, el tiempo de exposición ocupacional y la concentración de Mercurio en orina con alguno de los hallazgos neuropsicológicos mencionados a través de regresiones lineales múltiples. En este estudio se controló por factores confusores como la edad, consumo de alcohol e historia previa de trauma craneoencefálico. Se encontró una relación estadísticamente significativa entre los niveles de Mercurio en orina y la alteración de la memoria visual a largo plazo. Los autores de este estudio son enfáticos al afirmar que se presentaron problemas de poder dado el tamaño de la muestra y por tanto es posible que algunas asociaciones biológicamente plausibles no hayan mostrado significancia estadística (89).

Dado que las investigaciones que se han realizado de manera transversal en el contexto ocupacional no han encontrado efectos consistentes con efectos severos en la salud de la población trabajadora, se han conducido algunos estudios de seguimiento con el propósito de reportar los posibles efectos residuales de la exposición ocupacional al Mercurio, principalmente en odontología.

El estudio de seguimiento más prolongado fue realizado en Nueva Zelanda (90). El seguimiento se realizó a 115 asistentes de odontología que estuvieron expuestas 30 años atrás al Mercurio y que realizaron la manipulación del mismo sin guantes y/o sistemas de ventilación. Dado el riesgo para la salud, en esta investigación se indagó por salud general y reproductiva y se aplicó una batería de nueve test neuro-comportamentales. Al comparar a las mujeres del grupo expuesto con población sin antecedentes de exposición se encontraron diferencias significativas en salud reproductiva (específicamente por antecedentes de histerectomía temprana en las mujeres expuestas) así como con síntomas generales, los cuales tuvieron una relación directa con los años de exposición. Los autores concluyen que la ocurrencia de síntomas agudos por exposición a Mercurio puede ser reversible, mientras que algunos efectos residuales pueden irse incrementando, sobre todo con la edad de las mujeres.

En el contexto de Sur América, es importante mencionar dos estudios realizados en Venezuela. En el primero de ellos (91) se realizó un diseño transversal con el propósito de establecer los efectos del Mercurio sobre la salud de los odontólogos y los asistentes dentales, su relación con la exposición y posibles afecciones renales. Se incluyeron 66 personas entre odontólogos (59.5%) y asistentes dentales (40.5%) a quienes se les realizaron mediciones de Mercurio en orina y niveles de *N-acetil-□-D-Glucosaminidasa* (NAG-O) como marcador precoz de daño renal. Los niveles de Mercurio y de NAG-O fueron similares entre los odontólogos y los asistentes; no se evidenció alguna relación importante entre la presencia de estos biomarcadores y la preparación de amalgamas o cantidad de horas trabajadas. Dentro de las limitaciones de este estudio, los autores mencionan que no se realizó ningún tipo de prueba neuro-comportamental que pudiera ser predictor de alteraciones en la salud.

Así también, en el Callao (Venezuela), territorio minero por excelencia se busco medir el contenido de Mercurio total (T-Hg) en muestras de cabello mediante la técnica CVAAS (espectrometría de absorción atómica de vapores fríos), en población que vivía y trabajaba en centros donde se procesaban rocas y minerales para recuperar oro mediante amalgamas. En este estudio se evidenció que la concentración de Mercurio en las muestras de cabello tomadas de los niños que viven en el Callao estuvo entre 4,04 y 12,37 µg/g, con una media de 6,74 µg/g, lo cual resulta en sobre-exposición si se compara con los valores de la OMS (92).

Investigaciones en Colombia

En Colombia, y principalmente en los departamentos de Bolívar y Antioquia, se han realizado algunos estudios en materia de la toxicidad del Mercurio en ambientes ocupacionales.

Uno de los primeros estudios realizado en Colombia en el año de 1995, pone de manifiesto la magnitud de la contaminación por Mercurio entre la población del Sur de Bolívar y la incidencia de la misma sobre su salud, relacionada con los vertimientos diarios de residuos mineros a los cuerpos de agua sin ningún tipo de control ni tratamiento. Según los resultados de los análisis de Mercurio en cabello para los grupos de población estudiados (pescadores, mineros y población general), las concentraciones medias son mayores en pescadores que en mineros. En este estudio se evidencia la difusión de la contaminación hacia zonas urbanas relativamente alejadas, que probablemente obedece a que gran parte del pescado que se consume en Cartagena y la costa Atlántica proviene de los cuerpos de agua del Sur de Bolívar (2).

En el año 2000 se condujo un estudio (93) con el propósito de determinar la ocurrencia de alteraciones neuropsicológicas y del comportamiento en mineros del municipio de El Bagre como resultado de la exposición ocupacional a vapores tóxicos de Mercurio. En esta región de Antioquia se ha documentado que hombres, mujeres y niños se dedican a labores de extracción y purificación de oro, así mismo es necesario considerar que 7,2% de la población Antioqueña reside en esta zona. En este estudio se incluyeron 44 hombres distribuidos en dos grupos: el grupo caso estuvo conformado por 22 trabajadores clínicamente sanos con una exposición ocupacional a Mercurio mayor a 3 años y en el grupo control se incluyeron 22 hombres sanos que no estuvieron expuestos a vapores de Mercurio y que procedían de una región de Antioquia donde no se practica la minería.

Se realizó un apareamiento por edad y escolaridad entre los casos y los controles. Se realizaron evaluaciones neuropsicológicas a través de baterías de evaluación, exámenes clínicos y sintomatología relacionada con la intoxicación por Mercurio. A partir de los resultados de este estudio es posible concluir que en el grupo caso se presentaron alteraciones relacionadas con la capacidad intelectual, estado emocional y cambios neurológicos (insomnio, amnesia) aún en ausencia de sintomatología clínica y física detectable.

En el municipio de Segovia (Antioquia) durante el año 2005 se realizó un estudio con población ocupacionalmente expuesta a Mercurio principalmente por labores de minería. Este estudio se condujo con el propósito de estimar la prevalencia de alteraciones neuro-comportamentales en personas con exposición crónica y su relación con niveles de mercurio en cabello. Se diseñó un estudio de corte

transversal en el que a partir de un muestreo por conglomerados se aplicaron baterías de evaluación neuro-comportamentales en la población considerada expuesta y en población general que no realizaba labores de minería o relacionadas con la manipulación de mercurio. En esta investigación se encontró una alta prevalencia (15,2%) de niveles de mercurio en cabello por encima de lo recomendado, pero no fue posible determinar una relación dosis-respuesta con la ocurrencia de alteraciones neuro-comportamentales. (42)

Desde el año 2005 y hasta principios del 2007, *New Stetic S.A.* y la Universidad de Antioquia, se ocuparon de describir las condiciones locativas y ambientales en 30 grandes entidades odontológicas del departamento de Antioquia y caracterizar las actividades relacionadas con el manejo del Mercurio, la amalgama y sus residuos en 107 entidades pequeñas prestadoras de servicios en salud oral. Este proyecto se llamó "Gestión ambiental de la amalgama dental en el departamento de Antioquia". Dentro de los hallazgos más importantes, los autores reportan que todas las entidades analizadas presentaron imperfecciones en el piso (grietas y huecos), lo que representa dificultades en el momento de la higiene y desecho de residuos. También, en seis de las entidades que preparan más de 200 superficies de amalgamas a la semana se evidenciaron gotas de Mercurio derramado (94).

El lugar de almacenamiento del Mercurio en estas entidades fueron gabinetes, las gavetas, y repisas y en ninguna se almacena el Mercurio en nevera. En cuanto a residuos de Mercurio, se observó que 16 entidades no tienen rejillas para atrapar los residuos en las escupideras y la mayoría no cumple su función debido a su mal diseño o deficiente posición. Por otro lado, se identificó que el riesgo de contaminación por Mercurio, puede minimizarse considerablemente mediante diversas prácticas, muchas de las cuales no requieren grandes inversiones, sino que dependen básicamente de la sensibilización y educación de las personas, así como de la cultura, políticas y costumbres que caracterizan a cada entidad odontológica.

Manejo de desechos en el ambiente ocupacional

En Colombia a pesar de que existe una normatividad vigente, relacionada con el manejo adecuado de residuos hospitalarios existen dificultades para el cumplimiento en establecimientos odontológicos, es así como en un estudio realizado en el Departamento de Antioquia se encontró que la disposición de los residuos de amalgama recuperados por parte de las entidades odontológicas encuestadas del departamento, en un 37% los entrega a empresas encargadas de la recuperación industrial donde aparte de extraer los metales valiosos presentes en dichos residuos, recuperan el mercurio minimizando considerablemente el daño ambiental. El 20 % (21) de las entidades los entierran, aunque no se conocen los procedimientos que emplean. El 15% (16) de las instituciones los entregan a los

proveedores, 13 los entregan a las rutas hospitalarias y ocho al aseo municipal; es de resaltar que en las tres anteriores prácticas se desconoce el destino final. En cinco entidades los residuos permanecen en la institución, algunas veces por periodos de tiempo no recomendados; tres entregan sus residuos a la Cooperativa de Odontólogos de Antioquia y cuyo destino final se desconoce. Por último, una institución tiene la mala práctica de incinerarlos, lo cual genera un fuerte impacto ambiental en el ecosistema (94).



Los estudios muestran una evidencia de la exposición a vapores de mercurio de los profesionales de la salud y las debilidades en el cumplimiento de la normatividad nacional en cuanto a la gestión de residuos hospitalarios cuyos lineamientos se deben aplicar para minimizar los riesgos de la exposición al mercurio producido por la práctica odontológica.

Es de resaltar la estrategia propuesta por un grupo investigador de Antioquia en la cual se diseñó un tratamiento eco-eficiente de los residuos de amalgama dental, como una opción para la disposición final de estos residuos peligrosos, no sólo porque impide la contaminación ambiental a raíz de una mala disposición, sino porque permite recuperar metales que luego pueden ser reintegrados a la cadena productiva. Los investigadores indican que la recuperación y el reciclaje son la mejor alternativa entre las aceptadas por la normatividad ambiental colombiana (95).

La experiencia en otros países como Pakistán revela la importancia de realizar la gestión de residuos hospitalarios en los cuales se incluya el manejo de los desechos del mercurio utilizado en la práctica de odontología, basados en un estudio en el cual se evaluó el grado de utilización de la amalgama y la puesta en práctica de protocolos de gestión de residuos por dentistas pakistaníes, se encontró que la amalgama fue el material restaurador más utilizado, con la elección dictada por los pacientes con limitaciones financieras. Mientras un 90,4% de los dentistas percibieron la amalgama como un riesgo en salud, solo 46,4% de ellos lo consideraron un daño para el ambiente.

Los autores indican que en el país la amalgama es un restaurador dental utilizado debido a su durabilidad y bajo costo; por lo tanto, la eliminación gradual de o prohibición será difícil, además se recomienda que Pakistán se integre al programa PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) de mercurio y comience con el establecimiento de los protocolos de manejo de desechos de amalgama y reciclaje de mercurio (96).

Adicionalmente, en el Brasil donde se cuenta con la legislación para realizar la gestión de residuos hospitalarios se encontró en la municipalidad de Belo Horizonte

en 54 unidades básicas de salud que en 25 (46,3%) de las unidades, los residuos de mercurio eran almacenados en recipientes de vidrio con agua y en 29 (53,7%), en recipientes plásticos con agua, cuando la recomendación es almacenarlos en recipientes de plástico con glicerina. Además ninguna unidad encaminaba los residuos de mercurio para el reciclaje conforme a las recomendaciones del manual vigente (97) .

En general se reporta que los únicos puntos conformes con la legislación en todas las unidades fueron: que las agujas y el mercurio eran segregados; que eran utilizados recipientes de papel resistente con la simbología adecuada para el acondicionamiento de residuos cortantes y perforantes y que la recolección y transporte interno de residuos eran realizados diariamente. En las consideraciones finales los autores indican que la realización de investigaciones que aborden aspectos referentes a la administración de residuos es cada vez más importante como forma de fundamentar la legislación (97).

En conclusión, frente a la problemática ocupacional del Mercurio en la minería, resulta importante la modificación de los procesos de obtención de oro que se utilizan actualmente en el área de quemadores de amalgamas, ya que utilizan medios rudimentarios y artesanales; procesos que emiten vapor y humos contaminados que son absorbidos directamente por los trabajadores. Lo anterior indica que es necesario establecer normativas más exigentes y establecer la obligatoriedad a las industrias mineras de la utilización de los instrumentos que reduzcan las emisiones ocupacionales en estas áreas, como son las retortas.

En relación con el diseño de las unidades odontológicas se deben determinar a nivel reglamentario, las características y las condiciones locativas, ambientales y ocupacionales óptimas para el desarrollo de la actividad. Estas condiciones deben estar relacionadas como mínimo con el material y las características del piso, paredes y zócalos; cortinas, cuadros, bibliotecas y repisas; identificación y control de las fuentes de calor y derrames; así como el control que se deben tener sobre las condiciones ambientales de ventilación y temperatura; en cuanto a la disposición del Mercurio, lugares acreditados de almacenamiento y desecho.

Es vital y urgente la definición y cumplimiento de directrices que permitan minimizar el riesgo de contaminación por Mercurio del personal laboralmente expuesto, así como su control, seguimiento y determinación. Dado lo anterior, es de gran importancia la realización de campañas de sensibilización y educación relacionadas con el manejo, el almacenamiento, los riesgos y los peligros asociados al Mercurio odontológico. Por otro lado es imperativo la vinculación dentro de los exámenes obligatorios ocupacionales el del Mercurio (cabello y orina) a niveles de ingreso y de supervisión (anual y semestral).

5.2. MARCO LEGAL

La legislación ofrece un impulso y un marco para una gestión del Mercurio y sus compuestos, puede adoptar forma de tratados o convenios internacionales, leyes, decretos, resoluciones, reglamentos, reglas, criterios, normas y otras formas similares escritas de la política nacional y de las exigencias de comportamiento.

La legislación nacional consta de una o más leyes generales o marco que se aplican por medio de reglamentos concretos. En Colombia no hay una sola ley para los productos químicos, incluyendo el Mercurio. Los distintos ministerios afectados participan para elaborar, aplicar e imponer la legislación sobre estos.

Los objetivos generales de las iniciativas vigentes sobre el mercurio son reducir o prevenir la liberación de mercurio en el medio ambiente y evitar sus efectos directos o indirectos en la salud humana y en el medio ambiente. En términos generales, las iniciativas pueden agruparse de la siguiente manera:

- Normas de calidad ambiental que fijan la concentración máxima aceptable de mercurio para diferentes medios, como agua potable, aguas superficiales, aire y suelo, así como para alimentos como el pescado
- Acciones y normativas relacionadas con fuentes ambientales para controlar las liberaciones de mercurio en el medio ambiente, como las restricciones a las emisiones de fuentes puntuales en aire y agua, el fomento de las mejores tecnologías disponibles, tratamiento de desechos, y restricciones a su eliminación
- Acciones y normativas de control de productos para productos con mercurio, como baterías, cosméticos, amalgamas dentales, lámparas, pinturas/pigmentos, plaguicidas, productos farmacéuticos, etc.
- Otras normas, acciones y programas, como los reglamentos sobre exposición al mercurio en el lugar de trabajo, requisitos de información y notificación sobre uso y liberaciones de mercurio en la industria, recomendaciones para el consumo de pescado, y medidas de seguridad para el consumidor.

Como puede verse en el Anexo I, en el país se ha elaborado una legislación que se ha puesto en marcha con diversas medidas y reglamentos que cubren aspectos diversos del mercurio.

5.3. INVENTARIO DE LAS FUENTES DE LIBERACIÓN DE MERCURIO EN COLOMBIA.

5.3.1. Perfil nacional de sustancias químicas en Colombia 2010

Desde 2007 y a través del Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos Colombia¹ está recopilando información de forma homogénea y sistematizada sobre cantidades generadas y gestionadas de los diferentes residuos que por sus características reactivas, corrosivas, explosivas, inflamables, infecciosas, radiactivas o tóxicas afectan la salud del hombre o del medio ambiente y se consideran peligrosos.

El perfil nacional de sustancia Químicas en Colombia 2010 clasifica por procesos o actividades de acuerdo con el Anexo I del Decreto 4741 de 2005, emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) y por corrientes de residuos, de acuerdo con la lista A2 del Anexo II del mismo Decreto; a su vez esta clasificación corresponde a la establecida en el listado de residuos, Anexo VIII del Convenio de Basilea. Con base en la información reportada a través del Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos los establecimientos generadores de este tipo de residuos reportaron en el nivel nacional un total de 143.749,2 toneladas para 2010.

Los tipos de residuos peligrosos con mayor generación asociados a las 143.749,2 toneladas son los siguientes: mezclas y emulsiones de aceite y agua o hidrocarburos y agua (28,2%); residuos clínicos y afines (19,0%); aceites minerales no aptos para el uso al que estaban destinados (12,5%); desechos resultantes de la utilización de dispositivos de control de la contaminación industrial para la depuración de los gases industriales (5,2%); desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones de cualquiera de las sustancias siguientes: Antimonio, Arsénico, Berilio, Cadmio, Plomo, Mercurio, Selenio, Telurio, Talio (4,8%); y líquidos de desechos del decapaje de metales (3,8%).

De otro lado, los establecimientos generadores de residuos o desechos peligrosos reportaron para el período de balance 2010 un total de 236.219,5 toneladas gestionadas de residuos peligrosos, de las cuales 51.540,1 toneladas fueron aprovechadas o valorizadas, 155.173,4 toneladas fueron tratadas y 29.506,0 toneladas fueron llevadas a disposición final. Cabe resaltar que estas cantidades fueron las gestionadas durante 2010 pero no necesariamente fueron generadas el

¹ Decreto No. 4741 del 30 de Diciembre de 2005 y la Resolución No. 1362 del 2 de Agosto de 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

mismo año. La generación de residuos de mercurio se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8. Generación y gestión de residuos peligrosos con mercurio 2010

Corriente de Residuo o Desecho Peligroso	Total Generado	Aprovechamiento	Tratamiento	Disposición Final
Y29 - Desechos que tengan como constituyentes: Mercurio, compuestos de mercurio.	150,3	11,5	38,6	81,9
A1010 - Desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones de cualquiera de las sustancias siguientes: Antimonio, Arsénico, Berilio, Cadmio, Plomo, Mercurio, Selenio, Telurio, Talio, pero excluidos los desechos que figuran específicamente en la lista B.	6.966,3	3.185,2	7.335,3	76,7
A1030 - Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes cualquiera de las sustancias siguientes: - Arsénico - compuestos de arsénico, Mercurio - compuestos de mercurio, Talio - compuestos de talio.	6,8	1,4	3,1	2,8
A1180 - Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de éstos que contengan componentes como acumuladores y otras baterías incluidos en la lista A, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitadores de PCB, o contaminados con constituyentes del Anexo I (por ejemplo, cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado) en tal grado que posean alguna de las características del Anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B1110) .	358,4	139,1	77,8	147,4

Adaptado de Perfil nacional de sustancia Químicas en Colombia

Colombia no es productor de Mercurio, lo importa para emplearlo en diferentes campos de la producción; el consumo de los últimos años acorde con los datos de importación reportados por el Banco de Datos de Comercio Exterior (BACEX) son los siguientes:

Tabla 9. Consumo de mercurio de acuerdo al año

Año	2006	2007	2008	2009	2010
Toneladas	61,5	71,4	79,0	130,4	53,9

Fuente: BACEX

De las 71,4 toneladas de Mercurio importadas en 2007, (este consumo corresponde únicamente a la actividad legal del sector minero y a la industria manufacturera) 1,28 toneladas fueron empleadas en el sector manufacturero, según lo reporta el DANE, es decir que más del 98% del peso total importado se va a otras actividades como la minería; además, en este dato de importación no se contempla el Mercurio que entra con los bombillo fluorescentes, las pilas botón, los termómetros y otros bienes que ingresan al país por otras partidas arancelarias. Obviamente, tampoco se tiene un dato preciso de lo que entra como contrabando de esta sustancia.

El modelo de priorización de sustancias químicas desarrollado como complemento a los lineamientos de la guía de UNITAR para la elaboración el perfil nacional de sustancia químicas en Colombia 2010, permitió de forma sencilla realizar priorizaciones de sustancias químicas enfocando el análisis sobre cinco variables utilizadas: a) características de peligrosidad, b) cantidad consumida, c) número de regiones donde se consumen, d) número de clases industriales o cultivos en los que se consumen y e) número de eventos de emergencia y contingencia en los que está involucrada la sustancia química. Como resultado de este proceso se encontró lo siguiente para el Mercurio:

Tabla 10. Resultados de la priorización para el Mercurio

Variable de priorización	Puntaje para el mercurio+
Características de peligrosidad	5 puntos (toxicidad y peligro al ambiente)
Consumo	1 punto (menos de 100 toneladas)
Número de regiones	8 puntos (18 áreas)
Número de clases industriales CIIU	1 punto (menos de 30 actividades CIIU)
Número de eventos de emergencia y contingencia	5 puntos (39 eventos)*
Puntaje Total de Priorización	4,05 (ponderado de las 5 Variables)
<i>+ El puntaje máximo son 10 puntos, el puntaje mínimo es 1 punto. * En cuanto al Grupo 2, es la sustancia inorgánica con la que ocurren más eventos de emergencia, por encima aún de bases y ácidos.</i>	

Tomado de: Perfil nacional de sustancia Químicas en Colombia

El consumo oficial de mercurio no es muy alto pero aun así fue clasificada como una sustancia química prioritaria como resultado de la aplicación del modelo matemático de las cinco variables; además, del grupo de las sustancias inorgánicas es la involucrada en el mayor número de casos de emergencia y contingencia. Esta

priorización resalta la realidad de Colombia frente al Mercurio, mostrándola como relevante e importante debido a su alta toxicidad, a su movilidad en varias esferas ambientales y al alto grado de bio-acumulación en tejidos animales.

El desarrollo de los inventarios de sustancias químicas consumidas, importadas, producidas y exportadas, deja de manifiesto que existen vacíos en la información existente en las fuentes de datos oficiales del país; por ejemplo, hay muy poca información consolidada y confiable sobre las sustancias químicas empleadas en el sector minero, especialmente en las etapas de extracción y beneficio; se tiene información completa para las etapas de producción, importación, exportación y uso de las sustancias químicas en Colombia de cuatro años atrás (2007), debido a que la EAN del DANE solo ha consolidado la información hasta ese año; no existe información sobre almacenamiento de sustancias químicas; la base de datos BACEX utiliza muchas unidades de medida para una misma sustancia importada o exportada (frascos, libras, unidades, bultos etc.) lo cual no permite sumar o consolidar los datos de una sustancia especiada; esta situación fue crítica en las sustancias químicas utilizadas en el sector minero.

5.3.2. Informe de cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia²

A continuación se presenta la información consignada en el informe preliminar sobre la “Cuantificación de liberaciones antropogénicas de Mercurio en Colombia” realizado por la universidad de Antioquia en agosto de 2010 (98), basado en recolección de información secundaria utilizando el instrumental propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, versión marzo 2010 nivel 1.

Este informe contiene la cuantificación de liberaciones de mercurio generadas en los diferentes sectores productivos y de servicios en el año 2009. Según este informe la mayor fuente emisora de mercurio en el país corresponde a la categoría “Producción primaria de metales”,(170 Ton/año,) “Productos químicos” que contempla: producción de cloro álcali y monómeros de cloruro de vinilo (PVC), (107 Ton/año); disposición de residuos y tratamiento de aguas residuales (61 Ton/año); uso y disposición de productos con contenido de mercurio que corresponde a actividades comerciales que involucran importación de los productos (termómetros, interruptores eléctricos, fuentes de luz, Pilas) con 45 Ton/año.

² Adaptado de Cuantificación de liberaciones antropogénicas de Mercurio en Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial – Universidad de Antioquia, agosto de 2010.

Las categorías que liberan menos de 10 Ton/año son en su orden: extracción y uso de combustibles/fuentes de energía, producción de otros materiales, incineración de residuos, crematorios y cementerios y producción de metales reciclados. Sin embargo, no se debe sub-estimar estos valores por la toxicidad de este metal, su bioacumulación, biomagnificación, y por tanto el efecto adverso sobre el ambiente y la salud.

Las tablas que se presentan a continuación indican las liberaciones para la categoría "Producción primaria" (virgen) de metales.

Tabla 11. Liberaciones de mercurio estimado por categoría

Categorías	Entrada de Hg estimada, Kg Hg/año	Salidas de Hg estimada, Kg Hg/año	Liberaciones estimadas de Hg , Kg Hg/año					
			Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Residuos generales	Tratamiento/disposición residuos específico por sector
Producción virgen de metales	169.689	169.689	94.732,8	31.703,3	41.687,0	917,7	0,1	647,9
Producción de químicos	106.740	106.740	12.945,6	2.134,8	22.822,8	22.810,8	0	46.026,00
Disposición de residuos y tratamiento de aguas residuales	57.810	7.890	918,8	3.339,3	3.312,1	0	319,4	0
Uso y disposición de productos con contenido de mercurio	44.744	34.556	8.155,8	11.027,4	8.650,6	242,9	13.069,6	2.060,00
Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía	4.786	2.419	1.443,0	471,2	0	251,4	252,9	0
Producción de otros materiales	4.618	4.618	2.770,9	0	0	923,6	923,6	0
Incineración de residuos	513	513	461,5	0	0	0	0	51,3
Crematorios y cementerios	460	460	82,5	0	377,5	0	0	0
Producción de metales reciclados	0	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0
Otros Usos deliberados en procesos/Productos	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	389.361	326.884	121.511	48.676	76.850	25.146	14.566	48.785

Al revisar la tabla 11, de distribución de liberaciones a los diferentes medios se observa que el medio más impactado es el aire, seguido del suelo y del agua. Estas liberaciones proceden casi en su totalidad de la extracción primaria de metales, principalmente de oro.

Para desarrollar la matriz de cuantificación propuesta por el PNUMA para la categoría extracción primaria de metales se considero principalmente los procesos de minería de oro cobre, níquel y hierro, en que se incorpora cantidades de mercurio para la amalgamación del oro, se evalúa parcialmente los procesos de producción de metales reciclados por medio de chatarrización de vehículos para la producción de acero y el reciclaje de materiales como hierro, acero, cobre y aluminio, además lo referente a la minería de oro sin utilización de Mercurio. El estudio plantea la realización de ensayos de laboratorio para determinar la presencia de Mercurio en este tipo de materiales, sin embargo hasta el momento no se cuentan con estos resultados.

En la tabla 12 se muestran los cálculos de las liberaciones de mercurio para cada una de las subcategorías. El factor de entrada para la subcategoría de producción de cobre se obtiene a partir de mena mineral, resultado de análisis químicos de empresas del sector, al igual que la de producción de níquel. Para el caso de la subcategoría extracción de oro mediante procesos distintos a la amalgamación el factor de entrada es el resultado de análisis realizados a muestras de mena durante la elaboración de este proyecto. El factor de entrada para la subcategoría extracción de oro mediante amalgamación con mercurio es el resultado de un promedio de valores encontrados en diferentes estudios realizados por Corporaciones Autónoma (99, 100) y tesis o trabajos de universidades públicas (101-103) secretarías de minas y organismos internacionales.

Las principales áreas de liberación de mercurio en el país se encuentran localizadas en las zonas donde se presenta la pequeña y mediana minería de oro, principalmente en 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) y 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 

Tabla 12. Liberaciones de Mercurio por subcategorías

Categoría: Extracción primaria de metales	Tasa de Actividad anual	Factor de entrada de Hg g/Ton	Entrada estimada de Hg (Kg/año)	Liberaciones estimadas de Hg (Kg Hg/año)					
				Aire	Agua	Suelo	Sub productos e impurezas	Residuos generales	Tratamiento/ disposición residuos específico por sector
Producción de cobre a partir de la mena mineral	73214 Ton mena procesada/año	17	1245	62	75	0	461	0,0	647
Extracción de oro mediante procesos distintos de la amalgamación con mercurio	1270000 Ton de mena de oro usado/año	9	11430	457	229	10287	457	0,0	0,0
Producción Primaria de metales ferrosos (hierro, acero)	280772 Ton de hierro producido/año	0,1	14	13	0,0	0,0	0	0,0	1
Extracción de oro mediante amalgamación con mercurio sin uso de retortas	37,2 Ton de oro producido/año	4,2	157000	94200	31400	31400	0	0,0	0
Producción de níquel a partir de la mena mineral	3600000 Ton mena procesada/año	<0,001	3,6	0	0	0	0	0,1	0

Los grandes centros urbanos: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena y Bucaramanga, albergan casi la totalidad de la industria nacional por tanto son centros de grandes liberaciones de mercurio, debido al uso extensivo de combustibles, materias primas con trazas de mercurio y carencia de normatividad que les exija control de las emisiones de mercurio. De igual forma estas ciudades alojan la mayor parte de la población nacional por lo que se generan grandes volúmenes de residuos domésticos e industriales con contenido de mercurio procedentes de lámparas, pilas, termómetros y desechos industriales. Las mayores liberaciones se dan en la disposición final y tratamiento de todos estos residuos.

Las principales limitaciones del inventario se debe a la ausencia de estudios donde se puedan extraer los factores de entrada y de distribución de las liberaciones de mercurio para la mayoría de las categorías involucradas .

Algunos vacíos en la información se deben a que muchas de las industrias y empresas de servicios no suministraron información referente a la tasa de actividad o aducen no conocer el contenido de trazas de mercurio en las materias

primas que utilizan, por tanto no hacen análisis químicos para monitorearlo durante los procesos.

Adicionalmente, la legislación colombiana tiene vacíos para reglamentar el monitoreo del mercurio en las fuentes de agua, aire y suelo de la industria, por el desconocimiento de los procesos, y las materias primas (sustancias y compuestos con contenido de mercurio) que éstas utilizan.

Finalmente, un aspecto fundamental sobre la es que su metodología solo incluye información secundaria, con mínimo trabajo de campo por lo que los datos obtenidos no son concluyentes.

5.4. PLANES Y PROGRAMAS DE INTERVENCIÓN



Debido a los efectos toxicológicos en la salud humana y del medio ambiente, expuestos anteriormente, se han generado diferentes estrategias, convenios, planes, programas y políticas para el uso adecuado o eliminación del Mercurio. Estos se muestran a continuación:

5.4.1. Planes y programas en el contexto internacional

Se conoce que las emisiones anteriores de Mercurio en el planeta se han ido acumulando, conformando un background o contaminación de fondo, la cual se moviliza y deposita en nuevos lugares. A esta contaminación se suma las nuevas emisiones que contribuyen con la contaminación de las diferentes matrices y personas (5). Una evaluación realizada por el PNUMA en el 2000 determinó que las intervenciones para controlar la contaminación por Mercurio pueden ser efectivas, sin embargo se requiere el trabajo conjunto de todos los países, dado que la contaminación por Mercurio afecta a todo el planeta y no sirven o no son suficientes las medidas locales.

El Consejo de Administración del PNUMA se reunió bianualmente con el propósito de realizar una evaluación mundial del Mercurio que sirviera de línea de base para determinar medidas a nivel internacional. En el 2003 fue respaldado por organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, intergubernamentales y de integración económica regional relevantes a nivel internacional. De estas reuniones surge el *comité intergubernamental de negociación para el uso del Mercurio en el mundo*, el cual se encargo de generar, debatir y presentar los términos de un convenio mundial jurídicamente vinculante para controlar el Mercurio, también llamado decisión 25/5 (11).

Tal convenio pretende la adopción de medidas para mejorar la capacidad de almacenamiento, reducir la oferta, uso en productos y procesos, desarrollar inventarios nacionales, ejecutar acciones de sensibilización en técnicas de remediación, reducción del uso, gestión adecuada y riesgos asociados a la exposición a Mercurio, asistencia técnica y financiera, estrategias de cumplimiento, disposición de desechos, entre otros (104).

Cada uno de estos aspectos fueron tratados en la reuniones (104), en donde los miembros del comité pudieron opinar, pero debido a la pluralidad de los conceptos, se hizo necesario realizar una revisión de diferentes aspectos, tales como: conceptos, procedimientos y mecanismos de cumplimiento de algunos convenios ambientales multilaterales jurídicamente vinculantes, los cuales eran pertinentes para lograr el cumplimiento en el marco del futuro instrumento sobre el Mercurio (105). Los estudios que se tuvieron en cuenta en esta revisión fueron: *Compliance Mechanisms under Selected Multilateral Environmental Agreements*, realizado en 2007 y acuerdos ambientales adoptados por el PNUMA.

Posteriormente, en el 2011, en el segundo periodo de sesiones, se publica un análisis de costo-beneficio de alternativas existentes de uso de Mercurio para productos, procesos y tecnologías (106). Con este objetivo se revisaron estudios realizados en Canadá, Noruega y Estados Unidos.

En Canadá, se realiza una comparación de la actualidad con un escenario en el que se plantea la aplicación de las normativas para el control de productos que contienen sustancias tóxicas. Se determina que estas normativas podrían otorgar beneficios para el medio ambiente y efectos en salud, no generarían costos excesivos a fabricantes, pero podrían incrementar el costo de los productos, perjudicando de esta forma al consumidor, aunque para la mayoría de los productos que contienen Mercurio existen alternativas sin Mercurio de precios similares.

El estudio realizado en Noruega no pudo cuantificar con certeza los impactos de los beneficios y los costos, ya que en ese momento se habían introducido leyes voluntarias y reglamentarias que no fueron evaluadas. Se supuso que una prohibición general del Mercurio en los productos tendría un impacto limitado en las empresas noruegas, por lo tanto, la prohibición no tendría un efecto significativo en el empleo. Se calculó que los costos administrativos relacionados con la puesta en marcha de la prohibición serían bajos.

En Estados Unidos se hizo un listado de todos los productos que contienen Mercurio en el país, para cada uno de ellos se determinó con que puede ser remplazado y cuáles son las ventajas y desventajas de ello en términos de costo,

función y mecanismos de función, precisión, durabilidad, confiabilidad, entre otras. En esta evaluación se observa que lo más frecuente es que no hay desventaja o no ha sido identificada y en pocos casos se refiere al costo del producto de remplazo.

En la cuarta reunión del comité intergubernamental de negociación de Mercurio, realizada entre junio y julio de 2012 en Uruguay, los delegados se pusieron de acuerdo en almacenaje, residuos, territorios contaminados y reportes e información. Pese a lo anterior, queda pendiente establecer consenso en términos de financiación y mecanismos de control. Se espera que el convenio sea firmado en el 2013 en la reunión del Comité que se realizará en Minamata Japón.

De otro lado, en el viejo continente, la Comisión de las Comunidades Europeas presenta en 2005 una estrategia para proteger la salud humana y del medio ambiente debida a la contaminación por Mercurio. Esta estrategia llamada "Estrategia comunitaria sobre el Mercurio" menciona que aunque en algunos lugares se han aplicado medidas para la reducción de emisiones y uso de Mercurio, lo recomendable es la aplicación plena de estas en todo el mundo (5).

La estrategia se planteó en función de seis objetivos y veinte medidas, con compromisos a corto (hasta tres años) y mediano plazo (de cuatro a seis años), la cual sería evaluada en 2010. Los objetivos y medidas planteadas se resumen a continuación:

- i) Reducir las emisiones de Mercurio: Conociendo que entre 1990 y 2000 hubo un incremento del 20% en las emisiones de Mercurio en el mundo, se tomaron cuatro medidas: a) evaluación de directrices existentes y estimación de efectividad de nuevas medidas, tal como la fijación de valores límite de emisión de rango comunitario; b) exhortación a Estados e industrias que proporcionen información sobre emisiones y técnicas de prevención y control; c) realización de estudios para determinar estrategias para la reducción de emisiones de Mercurio en pequeñas instalaciones de combustión de carbón y d) verificación de la aplicación de normas para la gestión de residuos de amalgamas dentales.
- ii) Reducir la circulación (oferta y demanda): La Unión Europea es el principal exportador de Mercurio, con 1.000 toneladas netas de las 3.600 ofertadas mundialmente, adicionalmente, más del 75% de la demanda de Mercurio del mundo es para la extracción del oro, pilas y la industria cloroalcalina. Se plantean las siguientes medidas: a) reducir paulatinamente la producción y exportación e impedir que los excedentes de Mercurio se reintroduzcan en el mercado; b) examinar el uso de Mercurio en amalgamas dentales y evaluar los riesgos sanitarios y medio ambientales; c) modificar las normas para la

restricción en la comercialización de aparatos de medición y control con Mercurio y d) evaluación de productos y técnicas que usan Mercurio y posteriormente buscar sustitutos para ellos.

- iii) Resolver problema de excedentes y depósitos: En el momento que descendan las exportaciones de Mercurio, las reservas deberán ser almacenadas o eliminadas, de donde se propone: a) adoptar medidas para fomentar el almacenamiento del Mercurio y b) evaluar el destino del Mercurio presente en los productos que están en circulación.
- iv) Proteger de la exposición a Mercurio: La exposición a Mercurio en la población europea es principalmente por consumo de pescado, de ahí que se propongan las siguientes medidas: a) investigar los niveles de ingesta admisible para peces y mariscos de acuerdo al tipo de población; b) generar datos de Mercurio presente en alimentos y dar recomendaciones de acuerdo a las características de la población.
- v) Mejorar la comprensión del problema y soluciones: Proyectos de investigación y desarrollo en temas relacionados con efectos en salud, diseminación o acumulación del Mercurio en el medio ambiente, sensibilidad de los ecosistemas y toxicidad, son necesarios para disminuir las lagunas de conocimiento. La medida propuesta para ello es la determinación de prioridades de investigación y mecanismos de financiamiento.
- vi) Fomentar iniciativas internacionales relacionadas con el Mercurio: Lo expuesto anteriormente se puede cumplir si es tratado a nivel mundial, por lo que se propone: a) participar activamente en foros y actividades internacionales y realizar proyectos con otros países en materia de transferencia de tecnología; b) estimar la creación de una metodología para la financiación de proyectos que fomenten el uso limpio y eficaz de combustibles sólidos; c) incentivar la inclusión del Mercurio en el convenio Rotterdam; d) apoyar los estudios que se encuentran funcionando correctamente, tales como el protocolo de metales pesados del convenio CEPE; e) apoyar y aportar la evaluación del PNUMA; f) apoyar proyectos y países que usan Mercurio para la extracción de oro y por último g) acelerar la reducción paulatina de oferta de Mercurio e incentivar a otros países para que hagan lo mismo.

Posteriormente y según lo planteado, la Comisión Europea en 2010 publica la revisión de la estrategia comunitaria sobre el Mercurio (107). En ésta se evidencia un gran avance en la aplicación de la estrategia.

De acuerdo a la reducción de emisiones de Mercurio se conoce que existen nuevas normas para la reducción de grandes fuentes puntuales. La aplicación de estas y nuevas tecnologías permitirá la reducción de emisiones, sin embargo se necesita una meta ambiciosa la cual será seguida por la comisión.

Se están desarrollando restricciones más estrictas para la disminución de la oferta y demanda en términos de comercialización de instrumentos de medición con Mercurio. Recomiendan seguir estudiando la amalgama dental considerando el ciclo de vida del Mercurio.

Según los excedentes y depósito de Mercurio, en el momento de la publicación se estaban desarrollando estudios para determinar los métodos seguros para la eliminación de Mercurio metálico y la determinación de productos que se encuentran en circulación.

Se desarrolló una nueva base de datos sobre el consumo de alimentos con el propósito de calcular la exposición debida a alimentos. No se habían realizado evaluaciones con estos datos hasta el 2010. A pesar de ello, se emitió una nota informativa de la Comisión sobre el consumo de alimentos. Posteriormente, se adoptó una nueva lista de valores de referencia para exposición profesional.

Por último se han financiado investigaciones concernientes con el tema y se reconoce que la Unión Europea por si sola no puede controlar el problema, lo que hace necesario la inclusión al convenio jurídicamente vinculante del PNUMA.

Además de estos proyectos, en el mundo se han aplicado diversas estrategias que han tenido diferentes alcances y resultados. Estas se realizan por continente o país, entre los que se encuentran: Canadá, Indonesia, Mali, Tanzania, Nigeria, Filipinas, Senegal, Liberia, Ghana, Mongolia, Surinam, Zambia, Guayanas, Perú, Chile, Brasil, Ecuador, Bolivia y Colombia.

Una de las estrategias más reconocidas es el *Proyecto Global de Mercurio*, dirigido por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) desde 2002. Éste, avanza actualmente en proyectos piloto en Latinoamérica, específicamente en Colombia, Ecuador, Venezuela y Perú. Los objetivos del proyecto corresponden a la reducción de la contaminación de las aguas debidas al uso de Mercurio, introducción de tecnologías más limpias para la extracción, desarrollo de mecanismos productivos y programas para el control y seguimiento ambiental y sanitario, crear o aumentar la capacidad de los laboratorios que evalúen el impacto de la contaminación por Mercurio.

Aparte de este, se desarrollan estrategias con el propósito de generar conocimiento, realizar investigaciones o prestar asistencia. Algunas de ellas son:

- Investigaciones para determinar la cantidad de Mercurio usado en minas de oro (Liberia), sistemas de manejo residual y posible reciclaje (Liberia), entre otras.
- Asistencia para la medición y reducción de Mercurio usado en minería de oro (Ghana).
- Generación de conocimiento: Estrategia de una plataforma en internet basada en los conocimientos para los mineros artesanales desde el 2005 a la actualidad, la cual buscaba que los mineros artesanales se empoderen del problema mediante el conocimiento (<http://geco.mineroartesanal.com>) (Perú), o la capacitación realizada a los proveedores de Mercurio sobre los efectos causados a la salud de las personas de la región y posterior capacitación a los mineros para el remplazo del Mercurio en la extracción de oro por Bórax (Filipinas), entre otras.

En América Latina

Brasil cuenta con un Plan de Acción Regional para la Prevención y el control de la Contaminación por Mercurio en los Ecosistemas Amazónicos, realizado en el 2006 por la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) y el Ministerio del Medio Ambiente de Brasil (108). Este plan busca defender la calidad de vida, define los principios de control y prevención de contaminación y fomenta políticas y medidas reguladoras para detectar y reducir la exposición a químicos.

El Plan de Acción del Mercurio ha tenido dos sesiones, la primera en Brasil en diciembre de 2004 y la segunda en Perú en febrero de 2005. En ellas se desarrollaron cinco programas o ejes estructurales y de desarrollo, los cuales son alimentados por proyectos, planteados para cada uno de ellos. Los programas planteados son: i). Programa de Integración y de Interacción entre los Países, ii) Programa de Fortalecimiento Institucional, iii) Programa de Gestión Ambiental, Social y Tecnológica, iv) Programa de Comunicación Social y v) Programa de Gestión del Conocimiento.

Del análisis de los programas, proyectos y estrategias se propone: i) Crear un grupo de trabajo permanente que realice un Plan de Acción para la gestión de riesgos y aspectos relacionados con el uso de Mercurio. Además deberá actualizar el conocimiento de la región, ii) Identificación de fuentes de financiamiento, iii) Institucionalización de una red de intercambios de información, iv) Desarrollar una propuesta para la Certificación de Laboratorios de Análisis del Mercurio, v) Determinar uso, fuentes, legislación pertinente y situación de contaminación por

Mercurio en los países que conforman la OTCA (Ecuador, Guayana, Perú, Surinam y Brasil) por medio de un cuestionario y vi) Interacción con la Comunidad Andina (CAN) y con el Consejo de Administración del PNUMA.

Uno de los avances del Plan de Acción es el proyecto "Reducción de emisiones de Mercurio en la Minería de Oro Artesanal" realizado la EPA en el 2008. Esta investigación se dividió en dos fases, la primera buscaba desarrollar un sistema de captura de Mercurio y la segunda intensificar el uso del sistema en tiendas de oro o compra-ventas. El sistema desarrollado tenía características para masificar su uso, como facilidad de operación, economía, facilidad en acceso, construcción e instalación, además de recoge aproximadamente el 80% del Mercurio liberado (109).

Posteriormente, surge el proyecto "Control y captura del Mercurio en la extracción y refina de oro artesanal", desarrollado en 2009 (110). Este último proyecto se encargo de difundir el sistema por todos los lugares mineros del Perú y hacer las evaluaciones del sistema instalado en esos lugares. Por ejemplo, en Puerto Salgado se realizó la evaluación con mediciones antes y después del sistema, en este se encontró que las emisiones del tuvo de escape antes del tratamiento era de 1.580 mg/m^3 en promedio y después del tratamiento se redujo a 330 mg/m^3 . A pesar del descenso se encuentra por encima del límite de referencia de $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ según la WHO.

Adicionalmente, en Perú se usan medidas de mitigación y rehabilitación realizadas por el PUNO desde 1997, en estas se encuentra el uso de trampas de gravedad, prensas de amalgamación y retortas de destilación.

Por último, en Chile, desarrolló el Plan Nacional de Gestión de Riesgos del Mercurio en septiembre de 2008 (111). El objetivo principal de este plan es proteger la salud humana y ambiental por medio de la implementación de acciones para reducir los riesgos asociados al uso, consumo y emisiones del Mercurio.

Para alcanzar tal objetivo se trabajaron seis líneas de acción basadas en problemas identificados. Las líneas de acción fueron: i) Fortalecer la información base del inventario de usos, consumos y emisiones de Mercurio. ii) Sensibilizar y generar capacidades en los actores involucrados en la gestión de los procesos y productos con contenido de Mercurio, en el correcto uso, manipulación, disposición y los riesgos asociados a la exposición de este elemento, iii) Incentivar la generación y aplicación de instrumentos voluntarios y obligatorios de gestión ambiental para mejorar el manejo racional del Mercurio, iv) Fortalecer y armonizar el Marco Normativo relativo al Mercurio, v) Gestionar de manera racional los sitios con

presencia de Mercurio y vi) Institucionalizar el inventario de usos, consumos y emisiones de Mercurio.

Cada línea de acción tiene actividades para darle respuesta a los problemas identificados, a los cuales se les trazó una ruta corto, mediano y largo plazo, determinando en cada uno indicadores y responsables.

5.4.2. Planes y programas en el contexto nacional

En Colombia se inicia el desarrollo de la normatividad para el cuidado del ambiente. En 1997 se establece la política de Producción más Limpia, la cual busca prevenir y minimizar los impactos en el ambiente y a la salud humana en procesos industriales. En este periodo se ha encontrado que el sector productivo del país está respondiendo positivamente el compromiso.

En Colombia al igual que otros países latinoamericanos, la mayor fuente de contaminación por Mercurio es la minería, en especial la ilegal, la cual tiene ciertas características que intensifica el problema, una de ellas es el uso indiscriminado de Mercurio sin tener en cuenta normas, protocolos o medidas de seguridad. Los impactos generados por la minería se ven reflejados en el aspecto social, ambiental, económico y de orden público (27).

Dado lo anterior, se hace necesario que el gobierno genere una estrategia integral para la participación eficaz de las personas u organizaciones involucradas en el problema, cuyo objetivo debe ser controlar la explotación, extracción, acopio, transporte y aprovechamiento ilegal de minerales. En este sentido, se debe establecer un Plan de Acción que desarrollen ajustes normativos y regulatorios, fortalecimiento y articulación entre diferentes entidades y el fortalecimiento de procesos de desarrollo regional y mitigación de impactos ambientales, entre otros. Adicionalmente se requiere generar responsabilidades y tiempos de respuesta.

Por su lado, el Ministerio de Minas y Energía presenta el documento "Producción mas limpia en la minería de oro en Colombia" en 2007, el cual ofrece orientaciones para el diseño de programas y proyectos que propicien la reducción o sustitución del Mercurio y otras sustancias tóxicas, con el propósito de mejorar las condiciones técnicas, sociales, ambientales y de salud de poblaciones expuestas por la minería.

La producción más limpia en la minería se puede aplicar en la etapa de extracción o explotación, trituración y molienda, concentración gravimétrica, manejo de colas contaminadas, separación del Mercurio de la amalgama, recuperación de oro de la amalgama y reutilización del Mercurio. Conociendo que los procesos anteriores

tienen fallas en la minería, el Ministerio de Minas y Energía establece que las mejoras deben realizarse en función de la aplicación de tecnologías y procesos limpios, utilización de materias primas en la producción compatibles con el medio ambiente y establecimiento de buenas prácticas para el manejo adecuado de residuos (reducir, re-usar, reciclar) (112).

Basados en los puntos identificados se realizaron proyectos como: i) programa certificación Oro Verde, que daba beneficios a las minas legales en Chocó; ii) experimentos para recuperar Mercurio en afluentes líquidos y sólidos, este evaluaba diferentes métodos de remoción como carbón activado, bentonita, brómelas, recurvata, sargassum, tratamiento con peróxido y concentrador centrífugo; iii) control de metales en afluentes mineros, iniciativa que construyó una batería para remover los metales generados durante la molienda y separación, la cual removió más del 90% de los metales; y iv) el proyecto del Río Suratá, el cual implementó un sistema de asistencia técnica quienes instalaron diferentes métodos para reducir las concentraciones en la cuenca del río Suratá. Cada uno de estos proyectos obtuvo resultados positivos (112).

Enlazados al *Proyecto Global de Mercurio 2* (GPM-2), se firma en 2009 un acuerdo de cooperación técnica con la gobernación del lugar más afectado de Colombia, Antioquia, específicamente Segovia, Remedios, Zaragoza, El Bagre y Nechí. Se inicia el acuerdo con el desarrollo de un proyecto que evalúa algunas actividades desarrolladas en el Bajo Cauca Antioqueño, las cuales pretenden impulsar cambios tecnológicos que permitan una recuperación de la minería de oro, teniendo en cuenta la reducción del uso de Mercurio e impactos en la comunidad, por medio de la gestión del conocimiento y coordinación de esfuerzos minera (113).

En esta investigación se desarrollaron cinco líneas de acción: motivación empresarial, acompañamiento, asesoría y asistencia a los entables, acompañamiento a las compra-ventas de oro, sensibilización, socialización y divulgación y por último motivación y movilización institucional. La aplicación de estas líneas ha reducido el consumo de Mercurio y aumentado la recuperación en compra-ventas, plantas artesanales, además se montaron plantas de beneficio medianamente mecanizadas en algunos lugares.

Adicionalmente, con esta política se enlazaron proyectos realizados por la Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible y financiados por el Fondo de Compensación Ambiental y el Sistema Nacional Ambiental. Estos proyectos buscan beneficios a nivel ambiental, social y minero mediante la implementación de buenas prácticas, nueva tecnología para la extracción y procesamiento, capacitaciones, generar o fortalecer redes de trabajo interinstitucional, elaborar de políticas, implementar programas de monitoreo ambiental, entre otros (114).

Estos programas han tenido buenos resultados, los cuales se ven reflejados en mayor recuperación del oro y hectáreas mineras, disminución de uso del Mercurio, costos de operación, contaminación y efectos en salud. Tales proyectos han invertido en promedio 310 millones de pesos y han sido financiados por MAVDT y en menor proporción por las corporaciones autónomas regionales. Un resumen de ellos se presenta en la tabla 13.

De otro lado, en agosto de 2011 se creó la unidad de la Fiscalía contra delitos ambientales, la cual está encargada de investigar y sancionar todo aquello que perjudique el ecosistema, tal como: contaminación ambiental, explotación ilícita de yacimientos naturales e invasión de áreas ecológicas. Con esta unidad, la cual inició su funcionamiento en 2012, se espera que haya disminución de procesos masivos de contaminación con Mercurio y cianuro generados por la minería.

Por último, en 2012 se lanzó uno el programa de Postconsumo de iluminación, desarrollado por la ANDI en asocio con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta iniciativa busca generar conciencia ciudadana por medio de la recolección de bombillas que no se usan en las instituciones y residenciales, con el propósito de darle un manejo adecuado a estos residuos y de re-usar el Mercurio recuperado.

Tabla 13. Algunos proyectos de intervención realizados en Colombia

Nombre	Año y lugar	Inversión	Actividades	Resultados
Aplicación de tecnologías apropiadas para disminuir la contaminación ocasionada por el mercurio y cianuro.	2006. Municipios de Los Andes, Cumbitara, Mallama, Santacruz, La Llanada y Samaniego (Nariño)	397.406.000	Diseño e instalación de modelos demostrativos de amalgamación y cianuración.	Disminución de mercurio: 56%.
			Divulgación de tecnologías apropiadas de amalgamación, cianuración y publicación de los resultados del proyecto.	Aumento recuperación de oro en 25%.
			Capacitación y asesoría técnica sobre tecnologías apropiadas y educación ambiental.	Disminución de costos del proceso de beneficio de mineral 37% (de \$65.000 a \$41.000 por tonelada procesada).
			Diagnóstico y caracterización de fuentes hídricas contaminadas por mercurio.	Aumento de producción del proceso de trituración de 2.4 a 7.2 tn/día
Implementación y fortalecimiento de tecnologías limpias en la minería del oro del distrito minero de La Llanada	2009. Municipios de Los Andes, Cumbitara, Mallama y Santa Cruz (Nariño).	360.000.000	Mejoramiento e implementación de plantas minero-ambientales.	Capacitación: 261 mineros.
			Seguimiento a los procesos minero - metalúrgicos.	Aumento en el volumen de explotación y beneficio: 43%
			Manejo y disposición de estériles.	Disminución de la carga de sedimentos a las corrientes de agua: 75%
			Control y monitoreo de las liberaciones de mercurio.	Caracterización de fuentes para mercurio y cianuro: 23
Proyecto piloto de Producción más Limpia en la minería artesanal de oro en los municipios de Vetás y California, con el fin de disminuir el uso y contaminación de mercurio y cianuro	2008. Vetás y California (Santander).	224.000.000	Capacitación y asistencia técnica.	Capacitación: 120 mineros.
			Caracterización de tecnologías usadas y determinación del uso de mercurio en cuatro (4) plantas mineras.	Unidades de beneficio asistidas: cuatro (4)
			Monitoreo de mercurio y cianuro en agua y/o sedimentos.	Reducción en las pérdidas de mercurio: 39%.
			Adquisición de componentes del sistema de precipitación con zinc en polvo para la reducción del uso de mercurio y cianuro.	Disminución en la carga de contaminación por cianuro: 25%
Implementación de procesos de Producción más Limpia para reducir la contaminación por mercurio en el beneficio auro-platinífero, como experiencia piloto en el municipio de Condoto, Departamento del Chocó.	2007-2009. Municipios de Condoto (Chocó).	2007: 241.700.000 2008: 235.700.000 2009: 315.000.000 Total: 792.400.000	Divulgación y orientación tecnológica.	Implementación de paquetes tecnológicos de precipitación de oro mediante cementación con zinc en polvo: cuatro (4). Disminución de costo de cementación de oro: 75%
			Adiestramiento del recurso humano.	Mineros capacitados en temas empresariales, mineros-ambientales: 30
			Optimización del proceso de amalgamación en el beneficio auro-platinífero.	Funcionarios capacitados en producción más limpia en minería de oro: 3
			Implementación de instrumentos y procesos de Producción más Limpia en las unidades pilotos.	Disminución de pérdidas de mercurio en unidades mineras: 82.6%
Programa de Producción Competitiva y Limpia en los distritos mineros del departamento del Cauca	2008-2010. Municipios mineros del Departamento del Cauca	453.000.000	Monitoreo y seguimiento a los procesos implementados para la Producción más Limpia en las unidades pilotos.	Unidades mineras asistidas: 8
			Réplica de la recuperación y reducción del uso de mercurio en el beneficio auro-platinífero.	Equipo de destilación de mercurio entregado: 8
			Determinación del grado de contaminación generada por el uso del mercurio en el recurso.	Monitoreo de contaminación por mercurio en humanos: 41 Aumento en la recuperación de metales preciosos: 5%
			Elaboración de estudios base.	Estudios geológicos, mineros, metalúrgicos y ambientales de los distritos mineros: 5
			Introducción de tecnologías apropiadas de amalgamación, cianuración.	Funcionarios capacitados en Producción más Limpia en Minería de oro: 46.
			Mejoramiento de las unidades de explotación.	Mineros capacitados: 255
			Capacitación y asistencia técnica.	Disminución de pérdidas de mercurio por atomización: 70%
			Control y monitoreo ambiental.	Disminución de pérdidas de mercurio por quema de amalgamas: 90%
				Disminución en el uso de cianuro: De 4.5 kg/tn a 1.5Kg/tn
				Unidades mineras asistidas: 78
				Disminución de cargas de sedimentos: 75%
				Aumento en la recuperación de metales preciosos: 25%
				Reforestación en zonas degradadas por minería: 25 Ha

Tomado de: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Colombia. Actualizada septiembre 2012 (114).

5.4.3. Programas de vigilancia en salud pública en Colombia

En Colombia, existe un sistema de vigilancia en salud pública SIVIGILA el cual está soportado legalmente por el Decreto 3518 de 2006 en el cual se dan lineamientos claros sobre las competencias en vigilancia en salud pública de los actores del Sistema de Seguridad Social en Salud del país. Dando respuesta a estas directrices el Instituto Nacional de Salud (INS) impartió las herramientas para la notificación de casos teniendo como soporte el protocolo de vigilancia y control de intoxicaciones agudas por mercurio en Colombia desde el año 2007 (115).

Como resultado del reporte desde las Unidades Primarias Generadoras de Datos (UPGD) a unidades Notificadoras (UN) y Unidades Notificadoras Distrital o Departamental (UND) el INS recibió la información y basado en esta publicó el Boletín de intoxicación por mercurio en Colombia 2007 -2011 donde muestra los resultados de la vigilancia epidemiológica de la intoxicación por mercurio desde cuando se inicia su reporte en todo el país (116).

Como aspectos relevantes se muestra que durante este período fueron reportados 450 casos, y que durante el año 2009 se presentó el mayor número de notificaciones con 159 casos. El departamento de Antioquia fue el principal departamento que notificó con 407 casos durante los 5 años, esta tendencia se mantuvo durante todos los años de revisión donde Antioquia reporta más de los 90 % casos anualmente del total Nacional (116).

Del total de casos en el periodo analizado el 85,55 % corresponde a hombres y el 94,67% requirió hospitalización, el mayor número de notificación están en el grupo de edad de 20 a 49 años, dentro de este rango los subgrupos de 40 a 44 años y 45 a 49 años presentaron el mismo porcentaje (14,67%) y el grupo de 25 A 29 años un 13,56% lo que permite inferir una relación entre intoxicación con la actividad ocupacional (116).

El 79,33% de los casos de intoxicación fueron ocasionados por vía respiratoria, el 9,56% por vía oral y 6,89% por la piel. dado esto se puede afirmar que la intoxicación de mercurio en el país está asociada a la inhalación de vapores de mercurio metálico, producto de la quema de la amalgama para la obtención del oro y dado la forma de exposición que es permanente y a concentraciones variables, la intoxicación es predominantemente crónica, siendo las intoxicaciones agudas infrecuentes, lo que si se presenta con alguna frecuencia es la agudización de los cuadros crónicos debido a la exposición a una concentración inusual del contaminante (116).

La exposición ocupacional es la más frecuente con un 88,4% de los casos reportados, donde las ocupaciones mineros y canteros son las que presentan un

mayor número de casos (267) asociados al uso de mercurio como insumo para la minería de oro (116).

Las conclusiones más relevantes indican que en orden, los notificadores más frecuentes durante el período fueron Antioquia, seguido de Bogotá, Bolívar, Risaralda, Santander y Valle del Cauca. El mayor porcentaje de intoxicaciones reportadas fueron de tipo ocupacional siendo la vía de exposición más frecuente la respiratoria y de acuerdo al análisis por ocupación, el mayor número de intoxicados reportaron ser mineros o canteros (116).

Actualmente, se cuenta con un protocolo preliminar de intoxicaciones por mercurio proyectado por el Instituto Nacional de Salud en el cual se dan directrices para la captación, reporte, seguimiento y manejo de brotes del evento (36).

En cuanto a vigilancia de agua se encuentra que de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 en el capítulo IV artículo 13 se hace referencia al índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano (IRCA) en el cual se asigna el puntaje de riesgo a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la presente resolución, se observa que para el cálculo de este índice no se incluye el valor de mercurio a pesar que este se toma en cuenta como una de las características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana a evaluar en las muestras (117).

Como parte del fortalecimiento de las acciones de vigilancia en Salud pública en el país Colombia asistió durante el año 2010 y 2011 a las reuniones que se realizaron entre representantes de Brasil, Bolivia y Colombia con el objetivo de fortalecer sus sistemas de salud para trabajar y enfrentar el problema del mercurio, estas reuniones fueron como resultado de un convenio de cooperación técnica entre los tres países, organizado por la OPS (Organización Mundial de la Salud) y OMS (Organización Mundial de la Salud) para fortalecer la vigilancia de la salud de las poblaciones expuestas al mercurio. En este, se identificaron cuatro prioridades, necesarias para fortalecer la vigilancia de la salud de tales poblaciones, a saber:

-  Vigilancia de la salud (definición y aplicación de instrumentos de notificación de casos; establecimiento de los sistemas de información; percepción y comunicación de riesgos)
- Metodologías analíticas para la cuantificación del mercurio  Intercambio de técnicas y metodologías analíticas para la cuantificación de mercurio; control de calidad)

- Investigación (priorización de líneas de investigación sobre el mercurio; divulgación de la información)
- Atención en salud (establecimiento de protocolos de diagnóstico y manejo clínico).

En estas reuniones técnicas además se identificó que existen algunos grupos de población que merecen una atención especial en relación con la exposición al mercurio, ya que tienen una mayor probabilidad de exposición a niveles peligrosos, o debido a que, por ser portadores de alguna enfermedad, pueden exacerbarse los efectos de la intoxicación (35). Estos grupos son:

- Los trabajadores expuestos al mercurio
- La población general que rodea a las fuentes de contaminación con mercurio (minas, industrias)
- Las poblaciones en zonas contaminadas por mercurio, especialmente las indígenas y ribereñas que tienen en los peces su principal fuente de proteínas
- Personas que usan medicamentos con mercurio de forma prolongada
- Personas enfermas del sistema nervioso central, pacientes con insuficiencia renal y broncopulmonar crónica
- Las mujeres embarazadas y niños pequeños

Además se hizo hincapié en las mujeres embarazadas, mujeres lactantes y los niños que tienen ciertas características que, combinadas con las características del mercurio, los transforman en grupos de población más vulnerables.

Como resultado de la cooperación técnica y con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS), en el año 2011 se permitió la definición de una red de intercambio llamada Red de Vigilancia de la Salud de la Exposición al Mercurio (Redvigimer). La misión de esta red será la democratización de la información, el intercambio de experiencias y la conformación de grupos de discusión específica que contribuyan al fortalecimiento de la vigilancia de la salud de las poblaciones expuestas al mercurio (35).

Dando respuesta a los lineamientos impartidos en el CONPES 3550 de 2008, en Colombia, el Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible y la Organización de Naciones Unidas para el desarrollo industrial entregaron el documento perfil de sustancias químicas del país en el cual se encuentra que se realizaron encuestas a entidades gubernamentales y privadas y de acuerdo a los hallazgos, la mayor problemática de las sustancias químicas es su inadecuado manejo o manipulación

y las principales sustancias involucradas con esta problemática son los ácidos inorgánicos, las bases inorgánicas, los solventes, el mercurio y el cianuro.

Al articular este resultado con el de la priorización de sustancias químicas se infiere que los ácidos y las bases inorgánicas merecen especial atención pues son sustancias químicas ampliamente consumidas, se destacan el hidróxido de sodio , el amoníaco y los ácidos sulfúrico, fosfórico y clorhídrico dado que se consumen ampliamente en el nivel nacional, se utilizan en diversos procesos productivos y además, se encuentran reportados en eventos de emergencia, por su parte, el mercurio es la sustancia asociada al mayor número de accidentes.

Con base en lo mencionado anteriormente, en el documento indican que puede afirmarse que el país no dispone de un sistema integral de vigilancia en salud ambiental que permita monitorear las condiciones ambientales y evaluar su impacto en la salud de la población, razón por la cual uno de los principales retos de este proceso es promover y coordinar espacios de análisis de información intersectorial y comunitaria, que permitan construir evidencia nacional para orientar de manera técnica y científica la formulación de políticas, al igual que poner al alcance de la comunidad la información mínima requerida (118).

6. MEDIDAS NECESARIAS PARA EL CONTROL E INTERVENCIÓN EN COLOMBIA

6.1. IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

En el contexto de la revisión sistemática realizada para conocer de manera más detallada el abordaje de la problemática del Mercurio en los niveles académicos e institucionales, se conocieron 3 planes de acción que sirven de marco para evaluar las posibles acciones que se formularán en el presente proyecto. A continuación se señalan algunos aspectos relevantes de las experiencias que han avanzado en la formulación de planes de acción en el contexto internacional. Posteriormente se esbozan algunas líneas de acción que se han evidenciado como prioritarias en relación con el trabajo alrededor de la problemática del Mercurio, para el caso colombiano. Estas líneas han sido elaboradas a través de recomendaciones de las diferentes investigaciones revisadas, así como del diagnóstico inicial, a partir del cual se han podido identificar los vacíos en el campo investigativo y de intervención con población en riesgo de intoxicación.

En principio, se han identificado 2 experiencias internacionales enfocadas al diseño y puesta en marcha de planes de acción para abordar la problemática del Mercurio. Por una parte, se conoce la experiencia desarrollada en Chile a través de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, la cual se orientó a generar un Plan Nacional de Gestión de Riesgos durante el año 2008, basándose en un diagnóstico de los efectos nocivos del Mercurio sobre la salud, el cual se basó en un análisis de los riesgos de exposición a los diferentes tipos de Mercurio.

La segunda experiencia internacional que representa un avance en el trabajo con la problemática del Mercurio se realizó en Brasil a través de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), como una medida de seguridad alrededor de las actividades de minería y explotaciones sobre la cuenca amazónica. La tercera experiencia es nacional y fue gestada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en alianza con la Universidad de Antioquia con el objetivo de reducir, eliminar, prevenir y controlar la contaminación por Mercurio a nivel nacional.

Las experiencias internacionales parten de la elaboración de diagnósticos de la situación actual de contaminación por Mercurio, destacando los usos que tiene en algunas actividades productivas, siendo la minería una de las principales dinámicas a través de las que se usa el Mercurio en diferentes regiones a nivel internacional. Posteriormente a la elaboración de diagnósticos, se evidencian los vacíos en el conocimiento y puesta en marcha de planes de acción para mitigar los efectos de

esta problemática. Por ejemplo, en el caso de Chile, se identificaron vacíos legales o la inexistencia de iniciativas legislativas y normativas relacionadas con la restricción para la importación y/o exportación de productos con contenido de Mercurio, así como no se identificó una normativa orientada a regular el contenido de Mercurio presente en estos productos.

En las tres experiencias se ha trabajado en forma similar, a partir de la conformación de grupos de trabajo interinstitucionales y de la generación de programas y proyectos orientados a prevenir y mitigar los efectos del Mercurio sobre la salud y el medio ambiente. Sin embargo, el Plan de Acción formulado para Colombia, inicia con un proceso de fortalecimiento institucional que no hace parte de las experiencias internacionales, lo cual podría ser indicativo de un vacío de infraestructura y conocimiento y sensibilización frente a la problemática de contaminación y riesgo de intoxicación por Mercurio en gran parte del país.

En síntesis se identifican hasta el momento 4 grandes pilares en los cuales se basan los planes de acción ya elaborados:

1. Conformación de grupos de trabajo con especialistas en el tema, representantes de diferentes instituciones y entidades encargadas de la problemática del Mercurio y definición de responsabilidades.
2. Fortalecimiento institucional en lo referente con infraestructura de atención a casos de intoxicación, sensibilización de personal encargado de la prevención y atención, fortalecimiento del marco normativo con precisiones específicas sobre Mercurio y mejoramiento de la comunicación interna y externa de las instituciones.
3. Identificación de fuentes de financiación y disponibilidad de recursos por parte de las entidades encargadas del tema.
4. Generación de conocimiento y actualización permanente a través de monitoreos y caracterizaciones de las poblaciones en riesgo de intoxicación.

A partir del estado del arte sobre la problemática del Mercurio en Colombia, se abrieron múltiples preguntas que se intentarán resolver en la segunda fase de este proyecto a partir de la información que se levantará con los expertos conocedores del tema para el caso de Colombia. Sin embargo, ya se han delineado posibles acciones que se enlistan a continuación y que serán abordadas a través de la mesa de discusión con expertos y con los aportes de la información cualitativa que actualmente se está levantando.

Líneas de Acción:

- Georreferenciación: una primera necesidad que se expresa para actuar en torno a la problemática del Mercurio tiene que ver con la elaboración de mapas a nivel local, regional y nacional, en los que se detalle: los reportes por intoxicación, las vías de intoxicación, alcances del riesgo por contaminación (geográficamente), actividades económicas de las zonas afectadas, priorización de zonas afectadas, consumos de las zonas.
- Diseño y puesta en funcionamiento de una normatividad específica para Mercurio distinguiéndolo de los metales pesados.
- Reglamentación sobre el monitoreo de Mercurio en las fuentes de aire, agua y suelo de la industria, por el desconocimiento de los efectos de los procesos industriales y características de las materias primas.
- Formulación de programas para generación de alternativas ocupacionales, consumo y usos del Mercurio en las zonas más expuestas a los efectos nocivos de éste.
- Fortalecimiento de la infraestructura local, con programas específicos para prevención y atención a la población vulnerable.
- Formulación de un programa para la identificación y puesta en funcionamiento de alternativas para el uso controlado de las liberaciones de Mercurio. Las alternativas deberán contemplar el diseño de artefactos que minimicen el riesgo de intoxicación y que controlen las liberaciones. Por otra parte, debe contemplar las prácticas socioculturales de las comunidades afectadas para sensibilizarlas frente a la problemática y generar intervenciones donde se interioricen nuevas prácticas desde la perspectiva de cuidado de la salud y el medio ambiente.
- Conformación de equipos especializados para capacitar a los sectores productivos y a las comunidades en la implementación de mecanismos de producción más limpia.
- Implementación de programas de tratamiento y disposición final segura de desechos con contenido de Mercurio.
- Innovación y fortalecimiento tecnológico para los sectores productivos más expuestos a la contaminación por Mercurio.
- Involucrar a las comunidades afectadas y vulnerables en la formulación y concertación de medidas de prevención y atención del problema de la contaminación y posibles intoxicaciones.
- Articulación con instituciones o entidades internacionales con experiencia en diseño e implementación de programas para disminución de niveles de contaminación para generar acciones orientadas a la atención y prevención de intoxicación aguda o crónica.

6.2. ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN NACIONAL

De acuerdo con la revisión sistemática de literatura sobre el Mercurio, se logró identificar hasta el momento, que hay una gran concentración de estudios de tipo técnico, que se basan en mediciones de Mercurio, orientadas a determinar las cantidades presentes en agua, aire y un alimento particular, como el pescado. Por otra parte, existen algunas investigaciones que aportan valiosa información sobre algunos usos del Mercurio en Colombia, en especial para la minería y odontología, lo cual ha trazado un panorama general de las ocupaciones que están implicadas con el uso y riesgo de intoxicación por el manejo de Mercurio, sin que se agote el tema de qué otras esferas hacen uso de este elemento.

Desde esta perspectiva, el panorama actual del conocimiento alrededor de la problemática del Mercurio, deja abiertos múltiples interrogantes, que requieren mayor detalle de respuesta para ahondar en la comprensión de la problemática y proponer líneas de acción en correspondencia con las necesidades actuales.

Vale aclarar que al igual que las líneas de acción, este punto será trabajado en la segunda fase del proyecto, a continuación se exponen algunos puntos identificados en la revisión sistemática de literatura como, preguntas claves que deben resolverse, para profundizar en el conocimiento de la problemática que se está abordando.

- Estudios de uso de amalgama: extender los estudios que ya se han elaborado sobre usos de amalgamas en consultorios de espacios rurales, para evaluar si el manejo que se le da a este elemento, corresponde con las normas de seguridad y el nivel de riesgo de intoxicación al que están expuestas las personas que lo usan.
- Estudios de ubicación espacial: en los que se puedan identificar los factores de entrada y de distribución de liberaciones de Mercurio.
- Mayores cruces de información: enfocados a complementar el examen de Mercurio en orina, con análisis de cabello y cruzarlos con los resultados de monitoreos ambientales de Mercurio anuales.
- Avanzar en los estudios sobre contaminaciones ocupacionales que no tienen muchos reportes, porque no son intoxicaciones agudas.

- Estudios que involucren la caracterización de las poblaciones afectadas y su percepción del riesgo, y que involucren la perspectiva de género y de edad para cruzar con los niveles de vulnerabilidad poblacional 
- Caracterización de las poblaciones afectadas: Este ejercicio requiere de la elaboración de estudios de diagnóstico dónde se evidencien las dinámicas socioeconómicas de las poblaciones, brindando atención especial a los patrones socioculturales que hacen parte de dicha dinámica, para poder generar planes de acción acordes con las necesidades e intereses de sus pobladores, sólo en este sentido, un plan de acción puede garantizar su sostenibilidad posteriormente a la intervención.
- Investigaciones que integren la perspectiva socio-comunitaria en referencia con demandas ciudadanas e institucionales o de la sociedad civil, frente a la problemática ambiental y los efectos de la contaminación por Mercurio.
- Avanzar en la relación estadística efecto-exposición.
- Estudios que aclaren la relación de la contaminación por Mercurio con enfermedades cardiovasculares y el sistema inmunológico  así como su relación con otros contaminantes.
- Estudios que identifiquen los factores que influyen en la absorción y toxicidad 
- Estudios sobre consumo de pescado que se crucen con las especies contaminadas.
- Identificación de los sectores productivos e industriales relacionados con esta problemática, para hacer un proceso de intervención que contenga la sensibilización y formulación de compromisos para mitigar los efectos del uso de Mercurio en sus sectores.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Los inventarios de fuentes de contaminantes son una instrumento esencial para la toma de decisiones, interrelacionados con conocimientos específicos sobre las fuentes específicas de emisión y las opciones tecnológicas disponibles para su reducción, se puede identificar las medidas de reducción del Mercurio mas costo – beneficiosas .

Las línea base y sus posteriores actualizaciones, permiten hacer seguimiento del cumplimiento de las metas y objetivos propuestos y en consecuencia identificar enfoques novedosos y exitosos que puedan servir de ejemplo para todos, y al mismo tiempo identificar enfoques no tan exitosos que requieren mayor atención por parte de las diferentes entidades.

Además del uso de los biomarcadores  control de Mercurio, se deben dirigir esfuerzos al monitoreo y evaluación a fin de buscar signos de impacto crónico, como pruebas neuropsicológicas que permitan tener mejor conocimiento del efecto que puede estar ocasionando este tóxico sobre la salud. Esto facilitará realizar diagnósticos tempranos, develando casos insospechados de intoxicación mercurial que no son detectados con el examen médico tradicional. Es el caso de las secuelas en la población infantil, producto de madres embarazadas expuestas a pequeñas dosis por largo tiempo, que no manifiestan signos ni síntomas clínicos muy evidentes aunque hayan sufrido genotoxicidad por Mercurio.

También es muy importante continuar con los programas para educar a la población sobre los peligros del Mercurio, enfatizando los riesgos en la salud a corto y largo plazo, e informar a las entidades encargadas de la administración y de la salubridad  pública y ambiental, como la Gobernación de Córdoba, la Secretaría de Desarrollo de la Salud y La Corporación Autónoma regional de los Valles del Sinú y del San Jorge sobre los impactos del Mercurio para atender el problema en estas comunidades, así como de la necesidad de que la población vulnerable tenga acceso a otras fuentes de proteínas diferentes al pescado (69)



REFERENCIAS

1. Berglund M, Elinder C-G, Järup L. Human exposure assessment. An introduction. Organization WWH, editor: Taylor & Francis Group; 2001.
2. Olivero J, Mendoza C, Mestre J. Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia. *Saúde Pública*. 1995;29(5):376-9.
3. PNUMA. Módulo 3: El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala. 2008.
4. PNUMA. Evaluación mundial sobre el mercurio. Programa de las naciones unidas para el medio ambiente - productos químicos, 2005.
5. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo: Estrategia comunitaria sobre el Mercurio. Bruselas: 2005.
6. Chen CY, Serrell N, Evers DC, Fleishman BJ, Lambert KF, Weiss J, et al. Meeting Report: Methylmercury in Marine Ecosystems--From Sources to Seafood Consumers. *Environmental Health Perspectives*. 2008;116(12):1706-12. PubMed PMID: 35596420.
7. Jhonson C. Mercury in the environment: sources, toxicity and prevention of exposure. *Pediatric annals*. 2004;33(7):437 - 42.
8. 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. *Environmental Health Perspectives*. 2012;120(6):799-806. PubMed PMID: 76457318.
9. Poulin J, Gibb H. Mercury: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Geneva: World Health Organization (WHO) Public Health and the Environment, 2008 Contract No.: 16.
10. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry: Internacional research investigation agency. p. 325.
11. Weinberg J. Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG. In: (IPEN) RIDEdICOP, editor.
12. Colombia Departamento de Planeación Nacional. Minería de hecho en Colombia. Diciembre de 2010.
13. Álvarez Fermín LA, Rojas LA. Contenido de mercurio total en peces de consumo habitual en los asentamientos indígenas el plomo y el casabe - Estado Bolívar Total mercury content in common consumption fish in indigenous settlements El Plomo and El Casabe-Bolívar State. 2009:097-102.
14. Ministerio de Ambiente Vivienada y Desarrollo Territorial, Universidad de Antioquia. Cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia. 2010.
15. Gielen A, McDonald E. Using the precede-proceed model planning model to apply health behaviour theories in health theories, in *Health Behaviour Education and Health Education: theory, research and practice*. editors L, editor. San Francisco 2002.
16. McKenzie J, Neiger B, Smeltzer J. Planning, implementing and evaluation health promotion programs. Boston: Pearson - Cummings; 2005.

17. Garcia R, Suárez R. La aplicación de teorías y técnicas de las ciencias sociales a la promoción de la salud. *Revista panamericana de salud pública*. 1998;4:142 - 8.
18. Akobenk A. Understanding systematic reviews and meta-analysis. *Archives in disease and childhood*. 2005;90:845 - 8.
19. Schlesselman J, Collins J. Evaluating systematic reviews and meta-analysis. *Seminars in reproductive medicine*. 2003;21(1):96 - 106.
20. VonElm E, Altman D, Egger M. Strengthening the report of observational studies in epidemiology. *Gaceta Sanitaria*. 2008;22(2):144 - 50.
21. Oxman A, GH G. User's guide to medical literature. How to use an overview. *JAMA*. 1994;272(17):1367 - 71.
22. Simon H, A N. Planning methods for health and related organizations. Toronto: Jhon Wiley; 1984.
23. Arana-Zegarra M. Choropampa case: Mercury spill and damage to health in rural exposed population. El caso del derrame de mercurio en choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta.
24. Agency USEP. Water Quality Criterion for the Protection of Human Health: Methylmercury. In: Technology OoSa, editor. Washington2001.
25. Baker J. Mercury, Vaccines, and Autism. One Controversy, Three Histories. *American Journal of Public Health*. 2008;98(2):244-53.
26. Ball LK, Ball R, Pratt RD. An assessment of thimerosal use in childhood vaccines. *Pediatrics*.
27. La minería de hecho en Colombia. Diciembre 2010.
28. Evaluación Mundial sobre el Mercurio. Ginebra, SuizaDiciembre 2002.
29. Oliverio Verbel J, Johnson B. Mercurio en la Costa Atlantica Colombiana: Factor limitante del desarrollo. Seminario internacional sobre clinica del mercurio2003.
30. Ruiz J, Sanchez H, Parra C. Medición de las concentraciones de mercurio y controles ambientales en la quema de amalgamas provenientes de la minería. Seminario internacional sobre clinica del mercurio2006.
31. Alerta nacional, Advertencia sobre patrones continuados de exposición a mercurio. 1999.
32. Holmes P, James K, Levy L. Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health?. *Science of the Total Environment*. 2009;408:171-82.
33. (WHO) WHO. Children's exposure to mercury compounds. Ginebra, Suiza2010.
34. Lee R, Middleton D, Caldwell K, al. e. A review of events that expose children to elemental mercury in the United States. *Environmental health perspectives*. 2009;117(6):871-8.
35. (OPS) Cooperación técnica entre brasil, bolivia y colombia: Teoría y Práctica para el Fortalecimiento de la Vigilancia de la Salud de Poblaciones Expuestas a Mercurio. Primera ed. La Paz, Bolivia2011.
36. (INS) Instituto Nacional de Salud. Protocolo de vigilancia y control de la intoxicación por mercurio (Documento preliminar sujeto a cambios). Junio 2012.
37. Axtell CD, Cox C, Myers GJ, Davidson PW, al e. Association between methylmercury exposure from fish consumption and child development at five and a half years pf age in the Seychelles child development study: an evaluation of nonlinear relationships. *Environ Res Section A*. 2000;84:71-80.

38. Bates MN, Fawcett J, Garrett N, Cutress T, Kjellstrom T. Health effects of dental amalgam exposure: a retrospective cohort study. *International Journal of Epidemiology*. 2004 August 1, 2004;33(4):894-902.
39. Knobeloch L, Tomasallo C, Anderson H. Biomonitoring as an Intervention Against Methylmercury Exposure. In: Services WDoH, editor. *Public Health Reports* Junio-Agosto 2011. p. 568-74.
40. Axelrad D, Bellinger D, Ryan L, Woodruff T. Dose-Response relationship of prenatal mercury exposure and IQ: An integrative analysis of epidemiologic data. *Environmental health perspectives*. 2007;115(4):609-15.
41. Pradilla G, Vega E, Gamboa N. Estudio neuroepidemiológico y neurotoxicológico de una población minera con exposición crónica al mercurio. *Seminario internacional sobre clínica del mercurio* 1991.
42. Sandoval Y. Determinación de alteraciones neurocomportamentales en personas adultas expuestas crónicamente a mercurio en la población de Segovia, Antioquia 2005. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia; 2005.
43. Klautau-Guimarães, D'Ascensão R, Caldart FA, Grisolia CK, Souza JRd, Barbosa AC, et al. Analysis of genetic susceptibility to mercury contamination evaluated through molecular biomarkers in at-risk Amazon Amerindian populations. 2005:827-32. en
44. Counter SA, Buchanan G, al. e. Blood mercury and auditory neurosensory responses in children and adults in the Nambija gold mining of Ecuador. *Neurotoxicology*. 1998;19(2):185-96.
45. Biroscak BJ, Fiore AE, Fasano N, Fineis P, Collins MP, Stoltman G. Impact of the thimerosal controversy on hepatitis B vaccine coverage of infants born to women of unknown hepatitis B surface antigen status in Michigan. *Pediatrics*. 2003 //;111(6 Pt 1):e645-9.
46. Legrand M, Feeley M, Tikhonov C, Schoen D, Li-Muller A. Methylmercury Blood Guidance Values for Canada. *Canadian Journal of Public Health-Revue Canadienne De Sante Publique*. 2010 Jan-Feb;101(1):28-31.
47. Barbieri FL, Gardon J. Hair mercury levels in Amazonian populations: spatial distribution and trends. *International Journal of Health Geographics*. 2009
48. Oliverio Verbel J, Johnson B. Mercurio en la Costa Atlantica Colombiana: Factor limitante del desarrollo. *Seminario internacional sobre clinica del mercurio* 2002.
49. Dorea J. Mercury and lead during breast-feeding. *British Journal of Nutrition*. 2004;92:21-40.
50. Choi AL, Weihe P, Budtz-Jørgensen E, Jørgensen PJ, Salonen JT, Tuomainen T-P, et al. Methylmercury Exposure and Adverse Cardiovascular Effects in Faroese Whaling Men. *Environmental Health Perspectives*. 2009;117(3):367-72. PubMed PMID: 37252313.
51. Grandjean P, Budtz-Jørgensen E, Jørgensen PJ, Weihe P. Umbilical Cord Mercury Concentration as Biomarker of Prenatal Exposure to Methylmercury. *Environmental Health Perspectives*. 2005;113(7):905-8.
52. Crump K, Van Landingham C, Shamlaye C, Cox C, Davidson P, Myers G, et al. Benchmark Concentrations for Methylmercury Obtained from the Seychelles Child Development Study. *Environmental Health Perspectives*. Marzo 2000;108(3):257-63.

53. Budtz-Jørgensen E, Grandjean P, Keiding N, White R, Weihe P. Benchmark dose calculations of methylmercury-associated neurobehavioural deficits. *Toxicology Letters*. 2000;193-9.
54. Wijngaarden Ev, Beck C, Shamlaye C, Cernichiari E, Davidson P, Myers G, et al. Benchmark concentrations for methyl mercury obtained from the 9-year follow-up of the Seychelles Child Development Study. *NeuroToxicology*. 2006;27:702-9.
55. Davidson PW, Myers GJ, C. C, al. e. Effects of prenatal and postnatal methylmercury exposure from fish consumption on neurodevelopment: Outcomes at 66 months of age in the Seychelles child development study. *JAMA*. 1998;280:701-7.
56. Palumbo DR, Cox C, Davidson PW, Myers GJ, al. e. Association between prenatal exposure to methylmercury and cognitive functioning in Seychellois children : a reanalysis of the McCarthy Scales of Children's Ability from the main cohort study. *Environ Res Section A*. 2000;84:81-8.
57. Mergler D, Anderson H, Mahaffey K, al. e. Methylmercury exposure and health effects in humans: A worldwide concern. *Royal swedish academy of sciences*. 2007;36(1):3-11.
58. Jones L, Parker JD, Mendola P. Blood lead and mercury levels in pregnant women in the United States, 2003-2008. *NCHS data brief*. 2010 //(52):1-8.
59. Marsh DO, Turner MD, Smith JC, al. e. Fetal methylmercury study in a Peruvian fish-eating population. *Neurotoxicology*. 1995;16(4):716-26.
60. Idrovo A, Manotas L, Villamil G, al. e. Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Orinoquía colombiana). *Biomédica*. 2001;21(002):134-41.
61. Español S. Toxicología del mercurio. Actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. *Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica; Lima, Perú2001*.
62. Lutter R, Irwin E. Mercury in the environment, a volatile problem. *Environment*. 2002;44(9):24 - 40.
63. organization Fad. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma: 2010.
64. Nation, Organization WH. Food standards programme committee on contaminants in food. 2012.
65. 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. *The Science of the total environment*. 2006;368(1):320-5.
66. Agusa T, Kunito T, Iwata H, Monirith I, Tana TS, Subramanian A, et al. Mercury contamination in human hair and fish from Cambodia: levels, specific accumulation and risk assessment. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*. 2005;134(1):79-86.
67. Fei X, Holzman C, Rahbar MH, Trosko K, Fischer L. Maternal Fish Consumption, Mercury Levels, and Risk of Preterm Delivery. *Environmental Health Perspectives*. 2007;115(1):42-7.
68. Sánchez J. Evaluación de la concentración de mercurio en diversas marcas de atún enlatado comercializados en la ciudad de Cartagena de Indias: Universidad Nacional de Colombia; 2011.
69. Gracia H L, Marrugo N JL, Alvis R EM. Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009

Mercury contamination in humans and fishes in the municipality of Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. 2010:118-24.

70. Mancera-Rodríguez NJ, Álvarez-LeÓN R. Estado Del Conocimiento De Las Concentraciones De Mercurio Y Otros Metales Pesados En Peces Dulceacuícolas De Colombia. Current State of Knowledge of the Concentration of Mercury and Other Heavy Metals in Fresh Water Fish in Colombia. 2006:3-23. es.

71. Álvarez Fermín LA, Rojas LA. Contenido de mercurio total en peces de consumo habitual en los asentamientos indígenas el plomo y el casabe - Estado Bolívar
Total Mercury Content In Common Consumption Fish In Indigenous Settlements El Plomo And El Casabe - Bolívar State. 2009:097-102. es.

72. Brabo EdS, Santos EdO, Jesus IMd, Mascarenhas AF, Faial KF. Níveis de mercúrio em peixes consumidos pela comunidade indígena de Sai Cinza na Reserva Munduruku, Município de Jacareacanga, Estado do Pará, Brasil

Mercury levels in fish consumed by the Sai Cinza indigenous community, Munduruku Reservation, Jacareacanga County, State of Pará, Brazil. 1999:325-32.

73. Cheng HF, Hu YN. Understanding the Paradox of Mercury Pollution in China: High Concentrations in Environmental Matrix yet Low Levels in Fish on the Market. Environmental Science & Technology. 2012 May;46(9):4695-6.

74. Endo T, Hotta Y, Haraguchi K, Sakata M. Mercury contamination in the red meat of whales and dolphins marketed for human consumption in Japan. Environmental science & technology. 2003;37(12):2681-5.

75. Díaz S O, Encina M F, Recabarren G E, Del Valle C S, Pastene O R, Montes S S, et al. Estudio de la concentración de arsénico, mercurio, plomo y fenantreno en la macha (mesodesma donacium): implicancias alimentarias y toxicologicas- Study on arsenic, mercury, lead and phenanthrene concentration in surf clam (mesodesma donacium): food and toxicological implications. 2008:53-60.

76. Al-Tikriti K, Al-Mufti AW. An outbreak of organomercury poisoning among Iraqi farmers. Bull World Health Organ. 1976;53 Suppl:15-21.

77. Al-Damluji SF. Organomercury poisoning in Iraq: history prior to the 1971-72 outbreak. Bull World Health Organ. 1976;53 Suppl:11-3. PubMed PMID: 788949.

78. González-Montaña JR. Metales pesados en carne y leche y certificación para la Unión Europea (UE). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 2009;22:305-10.

79. Green A. Mercury Contamination in Turtles and Implications for Human Health. Journal of Environmental Health. 2010 06//;72(10):14.

80. Ceballos-Fonseca C. Distribución de playas de anidación y áreas de alimentación de tortugas marinas y sus amenazas en el caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR. 2004;33:79-99.

81. Robillard S, Beauchamp G, Paillard G, Belanger D. Levels of cadmium, lead, mercury and (137)caesium in caribou (Rangifer tarandus) tissues from northern Quebec. Arctic. 2002 Mar;55(1):1-9.

82. Maćkiewicz D, Falandysz J. - Total Mercury in Yellow Knights (Tricholoma equestre) Mushrooms and Beneath Soils. 2012;- 89(- 4).

83. Burger J, Campbell KR, Murray S, Campbell TS, Gaines KF, Jeitner C, et al. Metal levels in blood, muscle and liver of water snakes (Nerodia spp.) from New Jersey, Tennessee and South Carolina. Science of the Total Environment. 2007 Feb;373(2-3)

84. Español S. Toxicología del Mercurio, seminario internacional sobre la toxicología del mercurio. Universidad Nacional de Colombia 2006.
85. Sullivan J, Krieger G. Hazardous materials toxicology. Williams and Wilkins; 1992.
86. Ferreira R. Recuperación de mercurio en residuos de amalgamas en odontología. Ciencia y salud colectiva. 2008;13(2).
87. Bast - Pettersen R, Ellingsen D, Efskind J, Thomassen Y. A neurobehavioral study of chloroalkali workers after cessation of exposure to mercury vapor. Neurotoxicology. 2005;26(3):427 - 37.
88. Canto-Pereira L, Lago M, Costa M, Rodrigues A, Saito C, Silveira L, et al. Visual impairment on dentist related to occupational mercury exposure. Environmental toxicology and pharmacology. 2005;19(3):527 - 2.
89. Sletvold H, Svendsen K, Ass O, Syversen T, Hilt V. Neuropsychologic function and past exposure to metallic mercury in female dental workers. Scandinavian journal of psychology. 2012;53:136 - 43.
90. Jones L, Bunell J, Stillman J. A 30-year follow-up of residual effects on New Zealand school dental nurses from occupational mercury exposure. Human and experimental toxicology. 2007;26(4):367-74.
91. Rojas M, Guevara H, Rincon R, Rodriguez M, Olivet C. Exposición ocupacional y efectos en la salud del mercurio metálico entre odontólogos y asistentes dentales: un estudio preliminar. Acta científica venezolana. 2000;51:32 - 8.
92. Carrasquero-Durán A. Mercury contamination of workers of gold processing centres at El Callao, Venezuela. 2006:91-100. en.
93. Tirado V, Garcia J, Moreno L, Galeano F, Lopera F, Franco A. Alteraciones neuropsicológicas por exposición ocupacional a vapores de mercurio en El Bagre (Antioquia, Colombia). Revista de Neurología. 2000;31(8):712 - 6.
94. Ruiz C JA, Pérez R JI, Gómez M GJ, Carmona ME, Zapata LA, Carmona C R. Riesgo en el manejo de la amalgama dental en las entidades odontológicas medianas y pequeñas en el departamento de Antioquia, Colombia Risk in the management of dental amalgam in dental medium and small entities in the department of Antioquia, Colombia.
95. Ruiz Córdoba J, Carmona R, Gómez GJ, Muñoz JA. Tecnología limpia aplicada al tratamiento y aprovechamiento de residuos de amalgama dental. Luna Azul. 2008:80-6.
96. Mumtaz R, Ali Khan A, Noor N, Humayun S. Amalgam use and waste management by Pakistani dentists: an environmental perspective. East Mediterr Health J. 2010 Mar;16(3):334-9.
97. Nazar MW, Pordeus IA, Werneck MAF. Gerenciamento de resíduos sólidos de odontologia em postos de saúde da rede municipal de Belo Horizonte, Brasil. Revista Panamericana de Salud Pública. 2005;17:237-42.
98. Cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia. Medellín - Colombia: Universidad de Antioquia, 2012.
99. Economía y producción de Marmato marmato-caldas.gov.co/nuestromunicipio.shtml.
100. Corponariño. Proyecto implementación y fortalecimiento de tecnologías limpias en la minería del oro del distrito minero de la Llanada. Cartilla de resultados. Centro ambiental minero Sotomayor, 2009.

101. Ramirez J. Recuperación de mercurio a partir de efluentes sólidos de amalgamación y cianuración en el nordeste antioqueño: Universidad Nacional de Colombia; 2005.
102. Contreras R, Pinzón J. Propuesta del manejo integrado del mercurio en el proceso de amalgamación en Vetas y California (departamento de Santander - Colombia). 2001.
103. Hincapié U. Diagnóstico para la implementación de sistemas de gestión ambiental en el distrito minero de Segovia - Remedios. Gobernación de Antioquia, 2006.
104. Informe del comité intergubernamental de negociación encargado de elaborar un instrumento jurídicamente vinculante a nivel mundial sobre el mercurio acerca de la labor realizada en su primer período de sesiones. Junio 2010.
105. Conceptos, procedimientos y mecanismos fundamentales de acuerdos ambientales multilaterales jurídicamente vinculantes que podrían ser pertinentes para lograr el cumplimiento en el marco del futuro instrumento sobre el mercurio. Junio 2010.
106. Análisis de los costos en función de los beneficios de las alternativas existentes para los productos, los procesos y las tecnologías que se basan en el mercurio. Octubre 2010.
107. Europea C. Comunicación de la comisión al Parlamento Europeo y al Consejo relativa a la Revisión de la Estrategia Comunitaria sobre el Mercurio. Bruselas: 2010.
108. Plan de Acción Regional para la Prevención y el Control de la Contaminación por Mercurio en los Ecosistemas Amazónicos. In: Brasilia PRdMAdDdEdIEUdIEAe, editor. 2006.
109. Demostración tecnológica para reducción de las emisiones de mercurio en las pequeñas refinerías de oro. 2008.
110. Fernández L. Control y captura del mercurio en la extracción y refinería de oro artesanal. Argonen National Laboratory U.S. Environmental Protection Agency, 2009.
111. Plan Nacional de Gestión de Riesgos del Mercurio. 2008.
112. Producción mas limpia en la minería del oro en Colombia: Mercurio, Cianuro y otras sustancias. Unidad de Planeación Minero Energética; 2007.
113. García O, Molina J. Introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales, en el nordeste antioqueño y bajo cauca antioqueño, Colombia. Patrimonio Geomínero, Geología y Minería Ambiental de Bolivia. 2010.
114. Colombia Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-. Gestión del ministerio de ambiente en el tema de minería y desarrollo sostenible 2012..
115. Decreto 3518 de 2006. Bogotá D.C.2006.
116. Instituto Nacional de Salud. Boletín de intoxicaciones por sustancias químicas. 2012.
117. Ministerio de la protección social, Ministerio de ambiente vydt. Resolución 2115 de 2007. 2007.
118. Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química CONPES 3550. 2008.

ANEXOS

ANEXO I. NORMATIVIDAD

CONVENIOS Y TRATADOS INTERNACIONALES

PROTOCOLO RELATIVO A LOS METALES PESADOS.

Firma/Adopción: Marzo 22 de 1989.

Entrada en Vigor: Mayo 5 de 1992.

Ley Aprobatoria: Ley 253 2005.

Fecha de Ratificación y Adhesión: Diciembre 31 de 2006.

Objetivo: Control de Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación". Su objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los efectos adversos que puedan resultar de la generación, movimientos transfronterizos y gestión de los residuos peligrosos. Este Convenio considera dentro de los desechos peligrosos a los que contengan mercurio o estén contaminados por mercurio o sus compuestos. Los movimientos transfronterizos de estos desechos (exportación para su reutilización, reciclado y/o su eliminación final y a los que requieren gestionarse localmente) deben controlarse conforme a las obligaciones del Convenio

CONVENIO DE BASILEA SOBRE EL MOVIMIENTO TRANSFRONTERIZO DE DESECHOS PELIGROSOS.

Firma/Adopción: Marzo 22 de 1989.

Entrada en Vigor: Mayo 5 de 1992.

Ley Aprobatoria: Ley 253 2005.

Fecha de Ratificación y Adhesión: Diciembre 31 de 2006.

Objetivo: Control de Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación". Su objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los efectos adversos que puedan resultar de la generación, movimientos transfronterizos y gestión de los residuos peligrosos. Este Convenio considera dentro de los desechos peligrosos a los que contengan mercurio o estén contaminados por mercurio o sus compuestos. Los movimientos transfronterizos de estos desechos (exportación para su reutilización, reciclado y/o su eliminación final y a los que requieren gestionarse localmente) deben controlarse conforme a las obligaciones del Convenio

CONVENIO DE ROTTERDAM SOBRE CONSENTIMIENTO INFORMADO PREVIO – PIC.

Firma/Adopción: Septiembre 10 de 1998.

Entrada en Vigor: Febrero 24 de 2004.

Ley Aprobatoria: Ley 1159 de 2007.

Objetivo: Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos a objeto de comercio internacional". Este Convenio tiene la particularidad de proporcionar a los países importadores y exportadores, un primer aviso sobre ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos que ingresarían o saldrían de sus territorios. En el anexo III del Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional se incluyen los "compuestos de mercurio, que incluyen compuestos de mercurio inorgánicos, compuestos de alquilmercurio y compuestos de alquinoxilalquilo y arilmercurio". El Convenio de Róterdam garantiza que no existe comercio internacional si una parte importadora decide prohibir la utilización de los compuestos mencionados para su uso como plaguicidas, pero no hace recomendaciones respecto a la reducción o eliminación de los mismos, ni se aplica al mercurio destinado a su uso industrial

CONVENIO DE ESTOCOLMO SOBRE LOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES – POPS.

Firma/Adopción: Mayo 22 de 2001.

Entrada en Vigor: Mayo 17 de 2004.

Ley Aprobatoria: Ley 994 de 2005 Declarada Inexequible por vicios de procedimiento por la Corte Constitucional C

**Convenio de asociación no. 447 de 2012 suscrito entre el
Ministerio de Salud y Protección Social y la Fundación para la
Educación y el Desarrollo Social - FES**



576 de 2006.

Objetivo: proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los Contaminantes Orgánicos Persistentes (Art.1). Este Convenio no incluye al mercurio directamente, sin embargo, previo a su entrada en vigor, se ha instado a los Estados a hacer una labor preparatoria para incluir al mercurio dentro de los contaminantes

NORMAS BASE

Constitución Política de Colombia	Artículos 79 a 82	Derecho de gozar de un ambiente sano. El Estado tiene que proteger el Ambiente con la planificación del manejo y del aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible y su conservación; con la prohibición de las armas nucleares y bioquímicas.
	Artículos 331 y 361	Creación de organismos para la promoción de la preservación del ambiente.
	Artículos 63, 75, 332, 344, 353, 360	Protección y gestión de los recursos naturales.
Decreto Ley 2811 de diciembre 18 de 1974, Código de Recursos Naturales Renovables Marco legal ambiental de Colombia, disposiciones sobre prevención y control de sustancias peligrosas, disposiciones Uso Minero Decreto N° 1443 de 2004 - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ámbito Regulado: Contenido de Mercurio en Plaguicidas. "Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos, y se toman otras determinaciones.		
Ley 99 de 1993 y Decretos Reglamentarios.	Por medio de esta ley se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y prevé otras disposiciones que modificaron la normatividad ambiental incorporada en el Código de Recursos Naturales Renovables	
Ley 388 de 1997	Por la cual se modifica la ley 9ª de 1989 y la ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones sobre la Ley de Ordenamiento Territorial, la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo, la Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas y la Ley por la que se crea el Sistema Nacional Ambiental.	

USOS DEL AGUA Y VERTIMIENTOS LIQUIDOS

Decreto 1594 Junio 26 de 1984 "Por el cual se reglamenta parcialmente el título I de la ley 9 de 1979, así como el capítulo II del título VI - parte III - libro II y el título III de la parte III - libro I - del decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos"

Artículo 20	Artículo 38	Artículo 39	Artículo 41	Artículo 45
Sustancias de Interés Sanitario	Recurso Humano y Domestico		Uso Pecuario	Preservación de Flora y Fauna
	Tratamiento Convencional	Solo desinfección		Agua fría dulce
Establece el Mercurio como una SIS	0,002 mg Hg/L	0,002 mg Hg/L	0,01 mg Hg/L	0,01 mg Hg/L

Nota 1: el DECRETO 3930 del 25 de OCTUBRE DE 2010, *Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. En su Artículo 20 establece que "El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial dentro de los dieciocho (18) meses contados a partir de la publicación del presente decreto, definirá los criterios de calidad para el uso de las aguas superficiales, subterráneas y marinas.*

Artículo 12	Prohibiciones: en los vertimientos puntuales está prohibida la presencia de Mercurio Orgánico (Formula química: Hg, No. CAS:7439-97-6
Artículo 20	Parámetros a Monitorear el los vertimientos puntuales de aguas residuales de los prestadores de servicios públicos de alcantarillado para descargas a cuerpos de agua superficial: Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible: 0,001 mg/L
Artículo 23	Parámetros a Monitorear el los vertimientos puntuales de aguas residuales a generadores que desarrollen actividades en los CIIU, Sección A – Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca: Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a cuerpo de agua superficial: 0,001 mg/L. Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a alcantarillado público: 0,02 mg/L.
Artículo 25	Parámetros a Monitorear el los vertimientos puntuales de aguas residuales a generadores que desarrollen actividades en los CIIU, Sección C – Industria Manufacturera: Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a cuerpo de agua superficial: 0,001 mg/L. Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a alcantarillado público: 0,02 mg/L.
Artículo 29, 30, 31,32 y 33	Parámetros a Monitorear el los vertimientos puntuales de aguas residuales a generadores que desarrollen actividades en los CIIU, Sección B – Explotación de Minas y Canteras: Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a cuerpo de agua superficial: 0,001 mg/L. Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a alcantarillado público: 0,02 mg/L.
Artículo 43, 47,48,49,50, 51,52, 53	Parámetros a Monitorear el los vertimientos puntuales de aguas residuales a generadores que desarrollen actividades en los CIIU, Sección D – Industria Manufacturera: Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a cuerpo de agua superficial: 0,001 mg/L. Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a alcantarillado público: 0,02 mg/L.
Artículo 54	Parámetros a Monitorear el los vertimientos puntuales de aguas residuales a generadores que desarrollen actividades en los CIIU, Sección E – Suministro de Electricidad, gas y agua: Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a cuerpo de agua superficial: 0,001 mg/L. Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a alcantarillado público: 0,02 mg/L.
Artículo 55	Parámetros a Monitorear el los vertimientos puntuales de aguas residuales a generadores que desarrollen actividades en los CIIU, Sección N – Servicio Social y de Salud: Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a cuerpo de agua superficial: 0,001 mg/L. Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a alcantarillado público: 0,02 mg/L.
Artículo 56 y 57	Parámetros a Monitorear el los vertimientos puntuales de aguas residuales a generadores que desarrollen actividades en los CIIU, Sección O – Otras actividades de Servicio comunitarios, sociales y personales: Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a cuerpo de agua superficial: 0,001 mg/L. Mercurio (Hg): Valor Limite Máximo Permisible descarga a alcantarillado

	público: 0,02 mg/L.	
--	---------------------	--

AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007, Artículo 5.

Las características químicas del agua para consumo humano. valores máximos aceptables para Mercurio = 0.001 mg Hg/L.

NIVELES DE INMISION (CALIDAD DEL AIRE)

Resolución 601 del 4 de abril de 2006.

Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes No Convencionales con Efectos Carcinogénicos = 1.0 mg Hg/L para un tiempo de exposición de 1 año.

El anexo 2 – contaminantes no convencionales de la citada resolución se presenta el listado de Actividades y procesos industriales de acuerdo a la clasificación CIIU, que pueden generar contaminantes no convencionales. Para el caso del mercurio cita:

Fabricación de cementos, amalgamas, usados en odontología y demás productos de obturación dental	242312
Fabricación de productos químicos para fotografía, de películas, placas sensibilizadas y papeles fotográficos	242911
Recuperación y fundición de cinc	272913
Fabricación de artículos laminados, estirados y extruidos de cinc y sus aleaciones	272914
Fabricación de artículos fundidos de cinc y sus aleaciones	272915
Fabricación de artículos de cinc y sus aleaciones	272916
Fabricación de pilas y baterías	314001
Fabricación de acumuladores eléctricos, incluso partes de esos acumuladores	314002
Fabricación de lámparas y tubos de rayos ultravioleta o infrarrojo	315002
Fabricación de lámparas y tubos de descarga, fluorescentes, de cátodo caliente o de otro tipo	315003
Fabricación de máquinas e instrumentos científicos y de laboratorio, termómetros, pirómetros e higrómetros, pluviómetros	331211

Resolución 610 del 44 de marzo de 2010.

Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006

Artículo 5°. Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes No Convencionales con Efectos Carcinogénicos y Umbrales para las Principales Sustancias Generadoras de Olores Ofensivos. En la Tabla 2 se establecen los niveles máximos permisibles para contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos

Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes No Convencionales con Efectos Carcinogénicos = 1.0 mg Hg/L para un tiempo de exposición de 1 año. Para el mercurio inorgánico(vapores)

EMISIONES ATMOSFERICAS

Resolución 0909 del 5 de junio de 2008, Artículo 45

Capacidad del Horno Incinerador	Estándar Máximo Permisible
Capacidad igual o superior a 500 kg/hora	0,03 mg Hg/m ³ (Promedio diario)
	0,05 mg Hg/m ³ (promedio horario)
Capacidad inferior a 500 kg/hora	0,05 mg Hg/m ³ (Promedio diario)

**Convenio de asociación no. 447 de 2012 suscrito entre el
Ministerio de Salud y Protección Social y la Fundación para la
Educación y el Desarrollo Social - FES**



	0,10 mg Hg/m ³ (promedio horario)	
Hornos de incineración en hospitales y municipios	0,10 mg Hg/m ³ (Promedio diario)	
categoría 5 y 6 con capacidad igual o menor a 600 kg/mes	0,20 mg Hg/m ³ (promedio horario)	

RESIDUOS SOLIDOS

Decreto Numero 4741 De 30 Dic 2005

La tabla 3 del Anexo III - CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD DE LOS RESIDUOS O DESECHOS PELIGROSOS, del Decreto 4741 de 2005, establece que: Para el Mercurio, Concentraciones máximas para la prueba TCLP es de 0,2 mg/L.

Resolución 1402 de 2006 Prohíbe la entrada al país de residuos o desechos peligrosos sino se cumple con lo consagrado en el Convenio de Basilea, la Ley 253 de 1996, Ley 430 de 1998, y otras normas.

Resolución (1511) 6 julio de 2010 "Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas y se adoptan otras disposiciones"

Decreto Numero 2676 DE 2000 (diciembre 22) Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares. Artículo 13" Los residuos reactivos, mercuriales y demás metales pesados, deben ser aprovechados cuando haya lugar o tratados y dispuestos finalmente en rellenos sanitarios cumpliendo los procedimientos que establezca el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares. Complementado con: **DECRETO 1669** de 2002 (Agosto 2) , por el cual se modifica parcialmente el Decreto 2676 de 2000

CONTROL DE PLAGUICIDAS

Resolución 2189 de 1974 el Instituto Colombiana Agropecuario (ICA), del Ministerio de Agricultura

Se ordeno la cancelación del registro de los productos fungicidas de uso agrícola a base de compuestos de mercurio.

SECTOR MINERO

Ley 685 de 2001 modificada por la Ley 1382 de 2010,

No podrán ejecutarse trabajos y obras de exploración y explotación mineras en zonas declaradas y delimitadas conforme a la normatividad vigente como las áreas que integran el sistema de parques nacionales naturales, de carácter regional, zonas de reserva forestal protectora y demás zonas de reserva forestal, ecosistemas de páramo y los humedales designados dentro de la lista de importancia internacional de la Convención Ramsar. Lo anterior evita la realización de minería que usualmente utiliza mercurio en su beneficio, en zonas de alta sensibilidad ambiental.

Resolución 18-0861 de 2002.

El Ministerio de Minas y Energía y el MAVDT, adoptaron las guías minero-ambientales de exploración, explotación, beneficio y transformación, mediante la Resolución 18-0861 de 2002, las cuales constituyen un instrumento obligatorio de consulta y orientación, de carácter conceptual, metodológico y procedimental, en lo pertinente al manejo de residuos peligrosos.

A través de las normas que reglamentan las licencias ambientales y específicamente del Decreto 1220 de 2005, el MAVDT estableció la obligación de obtener licencia ambiental para proyectos mineros. En el caso de la minería del oro esta Licencia se ocupa también de la etapa de beneficio en la que se usa el mercurio.

TRANSPORTE DE MERCANCIAS PELIGROSAS POR CARRETERA

Decreto N° 1609 DE 2002 - Ministerio de Transporte.

"por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera."

Clasifica transporte de mercurio como CLASE 6 y corresponde a Sustancias Tóxicas e Infecciosas, la Norma Técnica Colombiana que la identifica y condiciona su transporte y uso es la NTC 3969 elaborada por el Organismo Nacional de Normalización (Icontec) –Anexo N° 18–.

**Convenio de asociación no. 447 de 2012 suscrito entre el
Ministerio de Salud y Protección Social y la Fundación para la
Educación y el Desarrollo Social - FES**



CAPITULO III - Registro Nacional para el Transporte de Mercancías Peligrosas, Artículo 6°. Tarjeta de Registro Nacional para el Transporte Mercancías Peligrosas

SALUD OCUPACIONAL

Ley 9ª de 1979 - Por la cual se dictan medidas sanitarias. Título III: Salud Ocupacional

Ley 55 de 1993 - Aprueba el Convenio 170 de la OIT sobre los productos químicos.

Ley 430 de 1998 - Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones

La Ley 100 de 1993 establece entre otros el sistema general de riesgos profesionales

Decreto Ley 1295 de 1994, cuyos objetivos buscan establecer las actividades de promoción y prevención tendientes a mejorar las condiciones de trabajo y salud de los trabajadores, fijar las prestaciones de atención en salud y las prestaciones económicas derivadas de las contingencias de los accidentes de trabajo y enfermedad profesional, vigilar el cumplimiento de cada una de las normas de la Legislación en Salud Ocupacional y el esquema de administración de Salud Ocupacional a través de las ARP.

Resolución 001016 de 1989 en el Artículo 4 y Parágrafo 1, se obliga a los empleadores a contar con un programa de Salud Ocupacional, específico y particular, de conformidad con sus riesgos potenciales y reales y el número de los trabajadores. También obliga a los empleadores a destinar los recursos humanos financieros y físicos, indispensables para el desarrollo y cumplimiento del programa de Salud Ocupacional, de acuerdo a la severidad de los riesgos y el número de trabajadores expuestos. Igualmente los programas de Salud Ocupacional tienen la obligación de supervisar las normas de Salud Ocupacional en toda la empresa, y en particular, en cada centro de trabajo.

CONTROL DE LAS INDUSTRIAS QUE UTILIZAN MERCURIO EN SUS PRODUCTOS O PROCESOS

Resolución 1297 de 8 de julio del 2010, "por la cual se establecen obligaciones para la recolección y gestión ambiental de los residuos de pilas y acumuladores portátiles y se adoptan otras disposiciones. Dicho resolución impone a los productores (fabricantes e importadores) de pilas y acumuladores portátiles, la obligación de establecer sistemas nacionales de recolección y gestión ambientalmente adecuados para todos los residuos de pilas y acumuladores comercializados en el país, con el fin de evitar que estos residuos se dispongan junto con los residuos sólidos domésticos en rellenos sanitarios o sitios de disposición final no controlados.

Resolución 1511 de 5 de agosto del 2010, "Por el cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de bombillas, y se adoptan otras disposiciones". En esta norma se establecen obligaciones de formular, presentar e implementar los Sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos, con el propósito de prevenir y controlar la degradación ambiental

CONSUMO HUMANO DE PESCADO

Resolución 776 marzo 3 de 2008, "Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que deben cumplir los productos de la pesca, en particular pescados, moluscos y crustáceos para consumo humano".

Mercurio Hg	0.50 (1) para otras especies de la pesca 1.00 (2) Bonito y atún.
-------------	---

(1) Si el pescado está destinado a ser consumido entero, el contenido máximo se aplicará al pescado entero.

(2) Crustáceos, excluida la carne oscura del cangrejo, así como la cabeza y el tórax de la langosta y de crustáceos

similares de gran tamaño (Nephropidae y Palinuridae).

Resolución 122 de 31 de enero 2012, "Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 776 de 2008"

Requisito	Alimento	Límite Máximo (mg/kg peso fresco)
Mercurio Hg	12.Productos de la pesca y carne de pescado (2) (3), excluidas las especies del numeral 13 de la presente tabla. El contenido máximo para los crustáceos se aplica a la carne de los apéndices y el abdomen (4). En el caso de los cangrejos y crustáceos similares (<i>Brachyura</i> y <i>Anomura</i>), se aplica a la carne de los apéndices.	0,5
	13. Carne de los siguientes pescados (2) (3): Rape (<i>Lophius species</i>) Perro del norte (<i>Anarhichas lupus</i>) Bonito (<i>Sarda sarda</i>) Anguila (<i>Anguilla species</i>) Reloj (<i>Hoplostethus species</i>) Cabezudo (<i>Coryphaenoides rupestris</i>) Fletán (<i>Hippoglossus hippoglossus</i>) Rosada del Cabo (<i>Genypterus capensis</i>) Marlin (<i>Makaira species</i>) Gallo (<i>Lepidorhombus species</i>) Salmonete (<i>Mulfus species</i>) Rosada chilena (<i>Genypterus blacodes</i>) Lucio (<i>Esox lucius</i>) Tasarte (<i>Orcynopsis unicolor</i>) Capellán (<i>Trisopterus minutus</i>) Pailona (<i>Centroscymnus coelolepis</i>) Raya (<i>Rafa species</i>) Gallineta nórdica (<i>Sebastes madnus</i> , <i>S. mentella</i> , <i>S.viviparus</i>) Pez vela (<i>Istiophorus platypetetus</i>) Pez cinto (<i>Lepidopus caudatus</i>), sable negro(<i>Aphanopus carbo</i>) Besugo o aligote (<i>Pagellus species</i>) Tiburón (<i>todas las especies</i>) Escolar (<i>Lepidocybium flabrobrunneum</i> , <i>Ruvettus pretiosus</i> , <i>Gempylus serpens</i>) Esturión (<i>Acipenser species</i>) Pez espada (<i>Xiphias gladius</i>) Atún (<i>Thunnus species</i> , <i>Euthynnus species</i> , <i>Katsuwonus pelamis</i>)	1.0

(2)Peces vivos, pescado fresco o refrigerado, con exclusión de los filetes. Pescado congelado, con exclusión de los filetes. Filetes y demás carnes de pescado (incluso picada) frescos, refrigerados o congelados. Excluido el hígado de pescado.

(3) Si el pescado está destinado a ser consumido entero, el contenido máximo se aplicará al pescado entero.

(4) El cefalotórax de los crustáceos queda excluido de esta definición.



DOCUMENTO BORRADOR CONFIDENCIAL