

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)
Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA)

EVALUACIÓN INICIAL para la **IMPLEMENTACION DEL CONVENIO** de **MINAMATA** (MIA) sobre **MERCURIO**

COSTA RICA
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

minae

gef

PNUD



PRÓLOGO

Siguiendo con su trayectoria de adherirse a importantes acuerdos multilaterales de medio ambiente, nuestro país hoy encara un nuevo reto a nivel nacional e internacional: el cumplimiento de los Compromisos del Convenio de Minamata sobre Mercurio. Ya dimos un primer paso, al ratificar el pasado mes de octubre este convenio a través de la Ley 9391, ubicándonos como uno de los primeros 10 países en América Latina que convirtieron en ley nacional las obligaciones emanadas de este Convenio.

Precisamente, para asumir con rigurosidad técnica estas obligaciones el Proyecto Actividades Habilitantes para la Evaluación inicial de Minamata, financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF por sus siglas en inglés), desde mayo del 2015 se dio a la tarea de desarrollar una serie de actividades, entre las que destaca la elaboración del Perfil Nacional del Uso de Mercurio en Costa Rica; que es un análisis preliminar de las condiciones del país, en distintas áreas, para aplicar las medidas establecidas en el Convenio. Al respecto se identificaron algunos de los factores normativos, económicos y tecnológicos que se requieren para atender adecuadamente estas obligaciones. La información suministrada por este Perfil es un primer punto de partida para definir con claridad la ruta que debe seguir el país en esta materia.

Tal como lo ha demostrado la experiencia con otros convenios que ha suscrito el país, el principal factor de éxito en estos esfuerzos nacionales es la colaboración y coordinación conjunta entre instituciones del Estado con los diversos actores sociales, en especial con el sector privado. Para el caso concreto de este Convenio, se debe sumar otro actor muy importante que es el sector de minería de oro artesanal, para el cual se proponen nuevas oportunidades tecnológicas y una mejora en la calidad de vida del sector.

Por otra parte, el atender el Convenio de Minamata es una forma también de ir respondiendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), aprobados por la Asamblea de las Naciones Unidas en setiembre del 2015, en particular el Objetivo 3 sobre Salud y Bienestar y el Objetivo 12 acerca del Consumo y Producción Sostenibles.

El objetivo 3 propone entre una de sus metas la de "reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo", en la misma línea una meta del Objetivo 12 es el de "lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, agua y suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente."

El país ya ha venido dando importantes pasos en estos temas, los cuales se fortalecen aún más al asumir el compromiso de atender las obligaciones que establece el Convenio de Minamata sobre Mercurio, uno de los últimos desafíos mundiales a nivel de la gestión de sustancias químicas. Si contamos con el apoyo y la colaboración de todos los sectores involucrados en el tema, de antemano auguramos el éxito en el cumplimiento de este Convenio, aportando así a uno de los mandatos constitucionales más importantes, como lo es el garantizar un ambiente sano para todos/as.

Dr. Edgar Gutiérrez Espeleta
Ministro de Ambiente y Energía



CRÉDITOS

DIRECCIÓN NACIONAL DEL PROYECTO

Licda. Shirley Soto Montero (DIGECA)

COMITE COORDINADOR DEL PROYECTO /

PhD. Elidier Vargas Castro
MSc. María del Mar Solano Trejos
Lic. José Alberto Rodríguez Ledezma

COORDINACIÓN NACIONAL DEL PROYECTO

Licda. Priscilla Quesada Solano – Coordinadora Nacional
Licda. Marilyn Rivera Pérez – Asistente Administrativa

EQUIPO CONSULTOR

Lic. José Pablo Sánchez Vega
Análisis del Marco jurídico institucional para la implementación del Convenio de Minamata

MSc. José Pablo Sibaja Brenes
Inventario de Emisiones – Toolkit PNUMA

Lic. Julio Murillo Hernández
Inventario de Emisiones N2- Toolkit PNUMA

MSc.Virginia Reyes Gatjens
Análisis Socio-económico: Minería de oro artesanal y sustitución de productos Anexo A, parte I

Universidad Nacional, Laboratorio de análisis ambiental
Mercurio en áreas prioritarias de Costa Rica

PhD. Paul Cordy
Estudio situación: Minería artesanal de oro en Costa Rica



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Comité técnico de coordinación del proyecto, instituciones públicas, organizaciones no gubernamentales, academia, empresas, laboratorios, por haber sido parte de la elaboración de la Evaluación Inicial para la Implementación del Convenio de Minamata sobre Mercurio. Su colaboración ha hecho posible que el país avance en temas ambientales tan importantes como lo es la gestión del mercurio.

También agradecemos al Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM/GEF), al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD-Costa Rica), por su apoyo financiero, técnico y administrativo, durante la ejecución del Proyecto.



RESUMEN EJECUTIVO

I. CONTEXTO NACIONAL

I. Geografía

Costa Rica, con tan sólo 51.100 km^2 de superficie terrestre (0,03% de la mundial) y 589.000 km^2 de mar territorial, es considerado uno de los 20 países con mayor biodiversidad del mundo (INBIO, 2015); se encuentra entre las coordenadas geográficas 8° 03' y 11° 13', de latitud norte y 82° 32' y 85° 57', de longitud oeste, incluyendo su área insular.

Su posición geográfica privilegiada, al contar con dos costas y un sistema montañoso que provee numerosos y variados microclimas, es unas de las razones que explican esta riqueza natural, tanto en especies como en ecosistemas. Junto a Belice y El Salvador, Costa Rica es una de las repúblicas más pequeñas de América Central: limita al norte con Nicaragua y al sur con Panamá; al este con el Mar Caribe y al oeste con el Océano Pacífico.

La longitud del litoral comprende 1 228 kilómetros, de los cuales 1 016 están en la costa pacífica y 212, en el Mar Caribe (BCIE, 2014). La costa pacífica presenta irregularidades geográficas: penínsulas, golfos y bahías, condición que facilita el establecimiento de zonas portuarias. Por el contrario, la costa del Caribe es más regular, pero menos apta para este tipo de instalaciones. En ambas se desarrolla el comercio portuario, por la ubicación del puerto de Limón, en la costa del Caribe, y el de Caldera en la Pacífica.

II. Población

Costa Rica cuenta con una población de 4 301 712 personas, la cual se desglosa por género de la siguiente manera: hombres 2 106 188 y mujeres 2 195 524 (INEC, 2011). Asimismo, es importante señalar que se presenta una densidad moderada, con 95 habitantes por km2.



Total País Censo 2011	
Población total:	4 301 712
Densidad de población:	84,2
Relación hombres-mujeres:	95,9
Relación dependencia demográfica	47,2
Tasas de fecundidad general:	1,4
Porcentaje de analfabetismo:	2,4
Población de 15 años y más:	3 233 882
Tasa de ocupación:	51,7
Tasa de desempleo abierta:	3,4
Relación dependencia económica:	1,5

Figura 1. Población nacional. (INEC, 2014)

III. Perfil político

A pesar de ser un país pequeño en extensión y población, Costa Rica se destaca por contar con un sistema democrático y republicano sólido; tiene un presidente y dos vicepresidentes, los cuales son electos directamente por medio del voto universal y secreto, por un periodo de cuatro años, y pueden ser reelegidos solo por un periodo más, pero no de forma consecutiva; asimismo, el vicepresidente puede ser candidato a presidente después de pasar cuatro años fuera de su cargo.

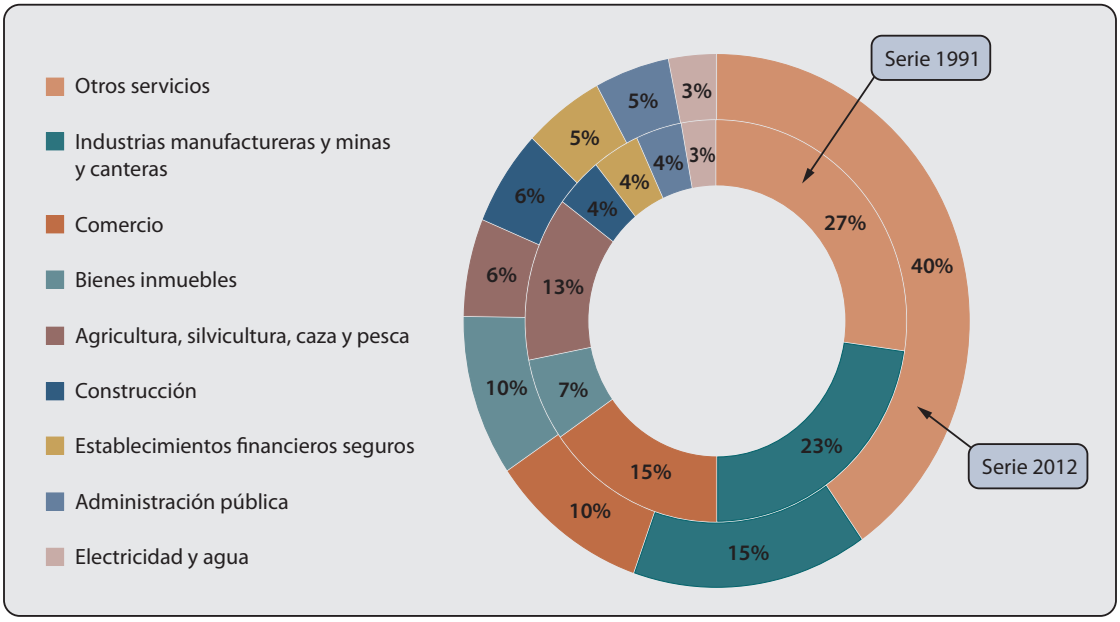
El Poder Legislativo es ejercido por la Asamblea Legislativa, la cual es unicameral y está compuesta por 57 diputados electos de manera directa, mediante el sufragio universal y secreto, por el sistema de distritos electorales y lista nacional. Los legisladores también son electos por un periodo de cuatro años cuatro años.

El Poder Judicial en Costa Rica está formado por jueces y magistrados de la Corte Suprema de Justicia, quienes cuentan con 3 ámbitos de acción: 1) judicial, 2) auxiliar de justicia y 3) administrativo. Su función es administrar la justicia y velar por el cumplimiento de la constitución y las leyes.

IV. Perfil de los sectores económicos

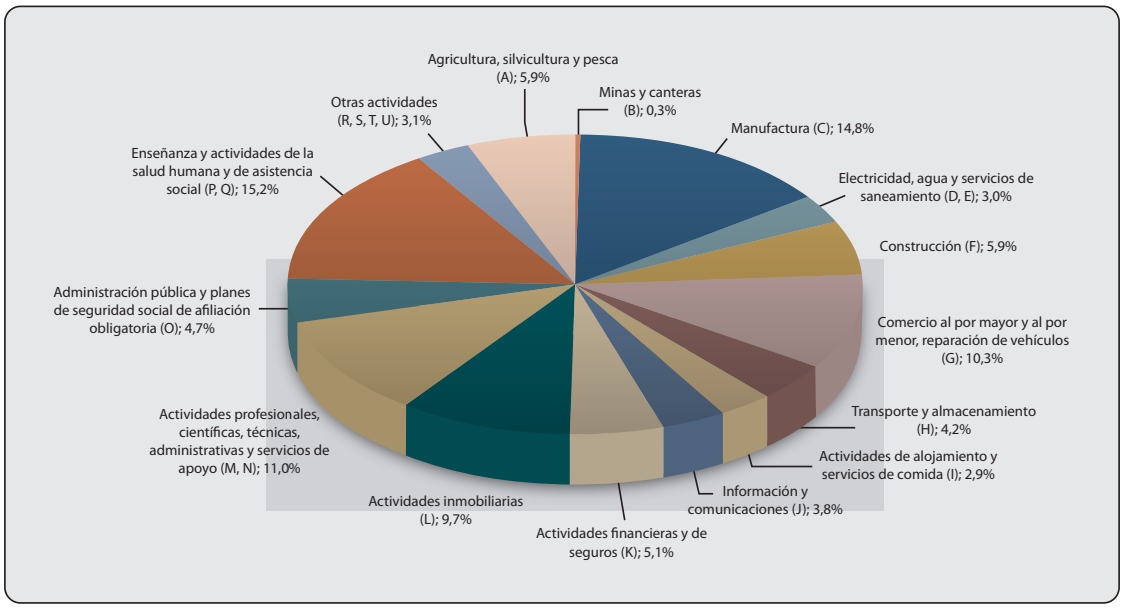
Durante los últimos años Costa Rica ha diversificado su tradicional industria agrícola, incursionando en la manufactura especializada y ampliando la oferta de servicios, en particular aquellos relacionados con los servicios prestados a empresas y con el turismo. Además, ha tenido una política de mercado abierto que se ha basado en la promoción a las exportaciones, las que se han diversificado, la atracción de empresas de alta tecnología y el sector médico han impulsado el crecimiento de las exportaciones en los últimos años.

Composición del PIB, años 1991 y 2012



Como puede apreciarse del gráfico anterior, la composición del PIB ha cambiado significativamente durante los últimos 20 años, la actividad manufacturera representa solamente un 14,8% del PIB para el año 2012, bajando significativamente respecto al año 1991, cuando representaba un 23%. En contraparte, la partida de servicios muestra un incremento importante al pasar de un 27% a un 40%, mostrando claramente la evolución que presenta nuestra economía.

El siguiente gráfico muestra la composición del PIB por industria para el año 2012, tal como se puede observar las actividades relacionadas con servicios como Comercio (10, 3%), Actividades inmobiliarias (9,7%), Enseñanza (15,2%), Actividades profesionales (11,0%) representan el mayor porcentaje del PIB para el año 2012, y las actividades relacionadas con la Manufactura (14,8%) han venido presentando una disminución en su participación.



El sector químico en Costa Rica se caracteriza por que la mayor parte de las materias primas químicas que se utilizan para la elaboración de productos finales para consumo interno o exportación son importadas. Los principales productos importados durante el 2015 fueron medicamentos, insecticidas, jabones y preparaciones de limpieza, antisueros y abonos minerales o químicos nitrogenados.

La gama de productos que se elabora para el consumo interno es muy amplia: pinturas, barnices, removedores de pintura, desoxidantes, fosfatizantes, detergentes, productos de limpieza, desinfectantes, jabones, medicamentos, cosméticos, fertilizantes, agroquímicos, herbicidas, fungicidas, insecticidas, colas y adhesivos, aceites, grasas, lubricantes, pastas, entre otros.

La industria química nacional se ha planteado como objetivo incursionar en la producción de nuevos bienes tales como: nanomateriales, plásticos biodegradables, aditivos alimentarios, antisépticos y desinfectantes de uso hospitalario, gases medicinales, biomateriales con diversos usos en medicina, purificación de agua para consumo humano, tratamiento de desechos sólidos y aguas residuales (industriales, hospitalarias, comerciales o residenciales), tratamiento de emisiones de gases contaminantes, generación de nuevas fuentes de energía renovables (por ejemplo con electroquímica), biotecnología aplicada a procesos industriales para la producción de enzimas y probióticos, productos naturales con aplicación medicinal.

V. Perfil ambiental

Durante los últimos 25 años, las políticas ambientales en Costa Rica se han orientado a consolidar los esfuerzos de uso, protección y conservación de los recursos naturales, con un fuerte enfoque en las áreas protegidas y en la generación eléctrica a partir de fuentes renovables (MIDEPLAN, 2010).

Ahora bien, la creación de capacidades para articular la política ambiental con las estrategias nacionales de desarrollo, ha permitido fortalecer el marco de planificación intersectorial, asegurando el liderazgo en la sostenibilidad en los planes nacionales de desarrollo. Es de esperar que un ordenamiento de la gestión de la política ambiental en esta dirección, posibilite una mayor claridad respecto de las inversiones totales que el país realiza en esta materia.

Sin embargo, a pesar de los avances mencionados, conviene señalar que en el último informe del Índice de Desempeño Ambiental de la Universidad de Yale (EPI), Costa Rica ocupó la posición 54 en 2014, en un ranking de 178 países, lo que significó la pérdida de la posición número cinco que había ostentado hasta 2012 (EPI, 2014), aunque en parte se explica por el cambio de metodología de cálculo de este índice.

El resultado pone en evidencia los desafíos que en materia de desarrollo sostenible enfrenta el país (MIDEPLAN, 2014):

1. Preservación del recurso hídrico,
2. Explotación racional de los recursos marinos,
3. Gestión de residuos,
4. Mecanismos de adaptación y mitigación ante el cambio climático,
5. Ordenamiento territorial,
6. Uso de energías limpias para reducir la dependencia de los combustibles fósiles,
7. y fortalecimiento de la cultura y la educación ambiental.

También es un reto sustantivo hacer cumplir la ley y que el marco institucional logre una mejor gestión ambiental, articulando sostenibilidad ambiental y desarrollo económico y social.

II. MARCO INSTITUCIONAL

Se presenta un análisis de la legislación nacional e internacional aplicada a los contaminantes orgánicos persistentes, así como las debilidades legales relacionadas con su manejo, en función de los compromisos adquiridos por Costa Rica para el cumplimiento del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.

I. Convenios internacionales

Costa Rica es parte de tres convenios internacionales con incidencia en la materia: Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación, y Convenio de Rotterdam para la Aplicación de Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos, Objeto de Comercio Internacional, los cuales establecen obligaciones a los países partes, además es parte del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias Agotadoras del Ozono. Recientemente fue ratificado el Convenio de Minamata sobre Mercurio, mediante la Ley 9391.

El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, fue adoptado en Estocolmo, Suecia, el 22 de mayo de 2001, y aprobado por Costa Rica mediante Ley No. 8538, de 23 de agosto de 2006, ratificado por Decreto Ejecutivo No. 33438, de 6 de noviembre de 2006.

Las obligaciones que Costa Rica tiene como Parte en este Convenio son:

- Prohibir la producción, importación y utilización de COP (Art. 3.1).
- Permitir la exportación de COP para fines de su eliminación ambientalmente racional (Art. 3.2).
- Elaborar y aplicar un plan de acción destinado a identificar, caracterizar y combatir las liberaciones no intencionales de COP listados en el Anexo C (Art.5).
- Elaborar estrategias apropiadas con el fin de garantizar que las existencias de productos conteniendo COP y sus residuos, se gestionen, recojan, transporten y almacenen de manera ambientalmente racional y se eliminen de un modo tal que el contenido del contaminante orgánico persistente se destruya o se transforme en forma irreversible; así como identificar los sitios contaminados con COP y en caso de que se realice el saneamiento de esos sitios, ello deberá efectuarse de manera ambientalmente racional. Asimismo, garantizar que no sean transportados a través de las fronteras internacionales sin tener en cuenta las reglas, normas y directrices internacionales (Art. 6).
- Incorporar los planes nacionales de aplicación relativos a los COP en sus estrategias de desarrollo sostenible cuando sea apropiado.
- Sensibilizar a los encargados de formular políticas y adoptar decisiones acerca de los COP y comunicar al público de toda la información disponible sobre los COP, elaborando y aplicando programas de formación y de sensibilización del público sobre sus efectos para la salud y el medio ambiente y sobre sus alternativas. Alentar a la industria y a los usuarios profesionales a que promuevan y faciliten el suministro de información (Art. 10).

El Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación, fue firmado el 22 de marzo 1989 en Basilea, Suiza, y fue aprobado por Costa Rica mediante Ley No. 7438, de 6 de octubre de 1994. Se incluyen otros desechos, con el fin de controlar el tráfico ilegal de desechos peligrosos disfrazados de no peligrosos.

Los Estados Parte de este convenio tienen, entre otras, las siguientes obligaciones:

- Asegurar que la generación de desechos peligrosos y los movimientos transfronterizos se reduzcan al mínimo (Art. 4.2.a).
- Establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos (Art. 4.2.b).
- No exportar desechos si el país importador no ha dado su consentimiento por escrito o si lo ha prohibido vía ley (Art. 4.2.e).
- Velar porque las personas que participen en el manejo de los desechos adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación o para reducir al mínimo sus consecuencias sobre la salud humana y el ambiente (Art. 4.2.c).

Para realizar un movimiento transfronterizo, se debe cumplir los siguientes requisitos:

- Existencia de un contrato entre el exportador y el eliminador, en el que se estipule un plan de manejo ambientalmente racional de los desechos a enviarse (Art. 6.3.b).
- Los desechos deben ir acompañados de un documento que los describa y deben ser embalados, etiquetados y transportados de acuerdo con los usos internacionales (Art. 6.7.c).
- Una sola notificación y consentimiento escrito podrán abarcar múltiples envíos por un plazo de doce meses (Art. 6.8).
- Los Estados de importación (receptores) de desechos podrán exigir que toda importación esté acompañada por un seguro, fianza o garantía (Art. 6.11).
- El movimiento solo se debe hacer si el Estado de exportación no dispone de la capacidad técnica ni de los servicios requeridos o de lugares de eliminación adecuados a fin de eliminar los desechos de que se trate de manera ambientalmente racional y eficiente o que, los desechos sean necesarios como materias primas para las industrias de reciclado o recuperación en el Estado de importación (Art. 6.9.a).

Las partes pueden imponer exigencias adicionales conformes a las disposiciones del Convenio de Basilea y de acuerdo con las normas del derecho internacional, para proteger mejor la salud humana y el ambiente, de un manejo inadecuado de este tipo de desechos. (Art. 6.11)

Por su parte, el Convenio de Rotterdam para la Aplicación de Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo a ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional, fue adoptado en Rotterdam, Holanda, el 10 de septiembre de 1998, aprobado por Costa Rica mediante Ley No. 8705, de 13 de febrero de 2009, y ratificado por Decreto Ejecutivo No. 35416, de 30 de junio de 2009.

Este convenio tiene como objetivo proteger la salud humana y el ambiente frente a posibles daños, debido al comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos, y contribuir a su utilización ambientalmente racional, facilitando el intercambio de información acerca de sus características, estableciendo un proceso nacional de adopción de decisiones sobre su importación y exportación y difundiendo esas decisiones a las Partes. Se aplica a los productos químicos prohibidos o rigurosamente restringidos, y a las formulaciones plaguicidas en extremo peligrosas.

Entre las obligaciones adquiridas por el país se destacan:

- Comunicar a la Secretaría cuando se haya adoptado una medida reglamentaria firme sobre los productos objeto de este convenio (Art. 5.1).
- Aplicar las medidas legislativas o administrativas necesarias para garantizar la adopción oportuna de decisiones relativas a la importación de los productos químicos enumerados en el

anexo III (Art. 10.1). Esta decisión puede ser permitir la importación, no permitir la importación o permitir la importación con sujeción a determinadas condiciones expresas.

- Facilitar el intercambio de información científica, técnica, económica y jurídica relativa a los productos químicos incluidos en el ámbito de aplicación del presente Convenio, incluida información toxicológica, ecotoxicológica y sobre seguridad (Art. 14.1).
- Establecer y fortalecer su infraestructura y sus instituciones nacionales para la aplicación efectiva del presente Convenio. Esas medidas podrán incluir, el establecimiento de registros y bases de datos nacionales, incluida información relativa a la seguridad de los productos químicos; el fomento de las iniciativas de la industria para promover la seguridad en el uso de los productos químicos; y la promoción de acuerdos voluntarios (Art. 15.1).
- Velar por que el público tenga acceso adecuado a la información sobre manipulación de productos químicos y gestión de accidentes y sobre alternativas que sean más seguras para la salud humana o el ambiente (Art. 15.2).

El Convenio de Minamata sobre Mercurio, fue aprobado mediante la Ley 9391 publicado en la gaceta 202 del 21 de octubre de 2016. El objetivo del Convenio es proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropógenas de mercurio y compuestos de mercurio.

Dado que este Convenio es reciente, se encuentra en el proceso de alcanzar las 50 ratificaciones necesarias para entrar en vigor. No obstante, se espera que para el primer semestre del año 2017 se alcancen dichas ratificaciones y se pueda celebrar la primera conferencia de la partes, para definir el funcionamiento del mismo.

II. Marco institucional

Antes de analizar el marco legal costarricense que regula la gestión de sustancias químicas, es necesario conocer la estructura institucional existente, así como las competencias de las instituciones que conforman dicha estructura, los posibles espacios de coordinación y los traslapes que se pueden presentar entre ellas.

III. Ministerio de Ambiente y Energía

De conformidad con su ley constitutiva, corresponde al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), formular, planificar y ejecutar las políticas de recursos naturales y de protección ambiental del Gobierno de la República, así como la dirección, el control, la fiscalización, la promoción y el desarrollo en los campos mencionados.

El MINAE es la autoridad nacional competente y responsable de coordinar las acciones derivadas de la aplicación del Convenio de Estocolmo, Protocolo de Montreal, Convenio de Minamata y el Enfoque Estratégico para la Gestión Integral de Sustancias Químicas (SAICM por sus siglas en inglés), por lo tanto, es el ente con competencia para establecer las regulaciones en cuanto al manejo de las sustancias incorporadas en cada convenio.

Asimismo, en materia de residuos peligrosos, según el decreto N° 37788 Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos, art 13, corresponde al MINAE:

- Apoyar al Ministerio de Salud (MINSALUD), en la formulación y ejecución de la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos y el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Peligrosos, así como evaluarlos y adaptarlos periódicamente.

- Comunicar oportunamente a los entes públicos y privados las directrices relacionadas con el cumplimiento de convenios internacionales sobre residuos peligrosos en el nivel nacional.
- Fomentar, en coordinación con el MINSALUD, la elaboración de normas específicas para residuos peligrosos, según sector o sectores productivos que los generen.
- Establecer el Sistema de Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC).
- Ejercer las funciones de Contraloría Ambiental y de Evaluación del Impacto Ambiental para sitios de gestión de residuos peligrosos, contenidas en la Ley No. 7554 de 4 de octubre de 1995 "Ley Orgánica del Ambiente," y establecer, vía reglamento, los requisitos y procedimientos específicos para estos sitios.

La Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA) del MINAE es la instancia competente para la gestión de sustancias químicas.

De conformidad con el Reglamento Orgánico del Ministerio de Ambiente y Energía (Decreto Ejecutivo Nº 35669-MINAET del 4 de diciembre de 2009 y sus reformas) corresponden a la DIGECA, entre otras, las siguientes funciones:

- Validar normas técnicas y regulaciones de calidad ambiental que tengan por finalidad evitar la contaminación del agua, el aire y el suelo.
- Dirigir el establecimiento de mecanismos y procedimientos de control ambiental.
- Coordinar el diseño e implementación de mecanismos de abatimiento de la contaminación.

• Ministerio de Salud

El Ministerio de Salud es el ente rector de la salud pública, por lo tanto le corresponde proteger las condiciones ambientales que puedan poner en peligro la salud de las personas.

Establece las políticas, regulaciones, normas técnicas, así como ejerce el control en materia de productos peligrosos, plaguicidas, manejo de residuos y contaminación atmosférica.

Asimismo, funge como autoridad nacional competente y responsable de coordinar las acciones derivadas de la aplicación del Convenio de Basilea (Art. 4 Decreto Ejecutivo No. 33104), como tramitar los permisos para la exportación de desechos peligrosos, por ejemplo, en el caso de los COP.

En materia de residuos, de conformidad con la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Ley 8839), el jerarca del Ministerio de Salud es el rector en la materia con potestades de dirección, monitoreo, evaluación y control. También debe fomentar e implementar la coordinación interinstitucional, especialmente con el MINAE y el MAG

• Ministerio de Agricultura y Ganadería

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) cuenta con el Servicio Fitosanitario del Estado, que entre otras funciones y obligaciones consignadas en el artículo 5 de la Ley No 7664, "Ley de Protección Fitosanitaria", vela por que la comercialización de agroquímicos esté amparada en las regulaciones técnicas y jurídicas vigentes, buscando la protección de la salud humana, la biodiversidad y dar cumplimiento a las regulaciones fitosanitarias que rigen la comercialización nacional e internacional de vegetales.

Asimismo, funge como autoridad nacional competente y responsable de coordinar las acciones derivadas de la aplicación del Convenio de Rotterdam (Art. 6 Decreto Ejecutivo No. 33104), por lo que le corresponde ejercer controles para la importación de plaguicidas y prohibir el ingreso de plaguicidas peligrosos.

- **Dirección General de Aduanas del Ministerio de Hacienda**

La Dirección General de Aduanas tiene como uno de sus objetivos principales lograr el control oportuno y eficaz de las mercancías que ingresan y salen del territorio nacional, protegiendo intereses superiores de la colectividad, como salud, seguridad y ambiente (Ministerio de Hacienda, 2014). La Ley General de Aduanas (No. 7557, de 20 de octubre de 1995) establece que la Dirección General de Aduanas es el órgano superior jerárquico nacional en materia aduanera, por lo que le corresponde la dirección técnica y administrativa de las funciones aduaneras, la emisión de políticas y directrices para las actividades de las aduanas y dependencias a su cargo.

Le compete la implementación de convenios internacionales y la legislación nacional en materia de COP, en forma conjunta con los ministerios referidos, los cuales comunican a Aduanas las prohibiciones o restricciones a la importación de determinados productos, por medio de notas técnicas.

Con el fin de tener un mejor control de los productos y residuos que entran y salen del país, la Ley para la Gestión Integral de Residuos estableció, en su artículo 36, que la Dirección General de Aduanas debe tener un programa de inspección en el sitio, a fin de comprobar en el campo la concordancia entre lo declarado y lo embalado por el exportador o importador. Para ello, la ley autoriza a la Dirección o a los inspectores del Ministerio de Salud, debidamente identificados, a adoptar, si lo consideran conveniente, un esquema de verificación de la conformidad de las importaciones y exportaciones, por medio de un sello o medio similar. Sin embargo, a partir de 2015, las importaciones de residuos y materiales valorizables serán sometidas al proceso de verificación inmediata de las mercancías declaradas, de manera que no serán aplicables mecanismos de verificación selectiva y aleatoria.

- **Consejo de Salud Ocupacional**

La Ley sobre Riesgos del Trabajo (No. 6727 de 24 de marzo de 1982) crea el Consejo de Salud Ocupacional (CSO), como organismo técnico adscrito al Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, con la función de propiciar las mejores condiciones de salud ocupacional en todos los centros de trabajo del país, realizar estudios e investigaciones en el campo de su competencia y promover las reglamentaciones necesarias para garantizar, en todo centro de trabajo, condiciones óptimas de salud ocupacional.

El Consejo tiene una conformación multisectorial, con representantes del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, del Ministerio de Salud, del Instituto Nacional de Seguros, de la Caja Costarricense de Seguro Social, así como de los patronos y de los trabajadores (Art. 275).

- **Secretaría Técnica de Coordinación para la Gestión de Sustancias Químicas**

Fue creada por Decreto Ejecutivo No. 33104, de 2 de enero de 2006, y está concebida como *"instancia de apoyo para las autoridades nacionales competentes y puntos focales de las diferentes convenciones, relacionadas con esta materia, así como de otras autoridades vinculadas, con el fin de promover una efectiva y eficiente conducción del tema de sustancias químicas a nivel nacional"*. Es por lo tanto, un espacio de coordinación interinstitucional e intersectorial, así como una plataforma para las sinergias entre los convenios de Estocolmo, Basilea y Rotterdam

Está integrada por representantes de las siguientes instituciones o sectores:

- Ministerio de Agricultura y Ganadería
- Ministerio de Salud
- Ministerio del Ambiente y Energía
- Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto
- Servicios Aduaneros del Ministerio de Hacienda

- Consejo de Salud Ocupacional
- Organizaciones No Gubernamentales (ONG)
- Unión Costarricense de Cámaras y Asociaciones de la Empresa Privada
- Consejo Nacional de Rectores

Las funciones establecidas para la Secretaría son velar y apoyar:

- Las acciones tendientes a buscar la ratificación, implementación y seguimiento de los convenios relacionados con el tema de la gestión de sustancias químicas.
- Las políticas, estrategias, programas y acciones para el manejo de las sustancias químicas en el país.
- Las acciones con las autoridades nacionales y puntos focales de los diferentes convenios y otros entes internacionales en materia de las sustancias químicas según corresponda.
- A las autoridades nacionales en aplicación y el seguimiento de las resoluciones y recomendaciones adoptadas por las conferencias de las partes en materia de sustancias químicas.
- A las autoridades nacionales en la difusión de la información que se genere en las diferentes convenciones y en las conferencias de las partes.
- Con recomendaciones técnicas y jurídicas, relacionadas con proyectos de ley y reglamentación técnica sobre sustancias químicas.
- Con planes de acción relacionados con la materia, que elaboren los ministerios competentes.

• Ventanilla Única de Plaguicidas

Por medio del Decreto Ejecutivo No. 36549-MAG-S-MEIC-MINAET, del 28 de abril de 2012, se creó una Ventanilla Única para registro de plaguicidas de uso agrícola, coadyuvantes y sustancias afines, con el propósito de recibir, tramitar y resolver las solicitudes de registro, al amparo de las competencias del MAG, MINSALUD y MINAE.

Dicha ventanilla está ubicada físicamente en el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), pero está conformada por funcionarios de los ministerios en cuestión, los cuales deben resolver las solicitudes de registro, en materia de su competencia, según el ministerio que representan. Cada uno deberá nombrar un coordinador, el cual tendrá la responsabilidad de revisar los informes técnicos y comunicar el criterio final al SFE, siendo vinculante para este, como órgano competente de la administración del registro de plaguicidas de uso agrícola, coadyuvantes y sustancias afines. El SFE debe dictar la resolución final, tomando en cuenta el criterio de los ministerios involucrados.



TRANSVERSALIZACIÓN DEL CONVENIO DE MINAMATA SOBRE MERCURIO

En el periodo de ejecución del Proyecto Actividades Habilitantes para la Evaluación Inicial de Minamata (MIA) se elaboraronlos insumos técnicos que se necesitan para que el paíspueda trazar la hoja de ruta que se requierepara cumplir con los compromisos del Convenio de Minamata sobre Mercurio.

Cada uno de los estudios contemplados en este Perfil determina una serie de conclusiones y recomendaciones que son fundamentales para el desarrollo de próximas medidas en este tema. En el análisis del marco regulatorio se identificaron algunos vacíos, pero también oportunidades para ir abordando el tema desde reformas normativas que pretenden dar cumplimiento a los diferentes requerimientos establecidos en el Convenio de Minamata.

Por otra parte el inventario de mercurio realizado con datos del 2014, utilizando la herramienta del PNUMA, permitió estimar las potenciales emisiones de las diferentes fuentes identificadas por el Convenio, no obstante, es importante mencionar que dichas emisiones son calculadas bajo una serie de supuestos que conforman los factores de conversión, por lo que los resultados obtenidos deben interpretarse bajo el contexto nacional y antes de tomar alguna decisión se debe corroborar en el campo dichos datos, lo cual eventualmente permitiría priorizar acciones por sectores.

Además, desde un enfoque integral de la problemática, también se realizó un estudio costo-beneficio que evaluó los posibles costos asociados a la sustitución de los productos que contienen mercurio y en la minería artesanal, donde se valoró la incorporación de nuevas tecnologías libres de mercurio y un análisis de la cadena de valor para la obtención del oro.

También se llevaron a cabo una serie de actividades con varios sectores, los cuales aportaron orientaciones y sugerencias valiosas acerca de los retos que representa para el país el cumplimiento de este Convenio. Precisamente, el presente capítulo se nutre de estos y otros esfuerzos que se han llevado a cabo para determinar desde una perspectiva estratégica las principales acciones que el país debe asumir para atender los compromisos del Convenio de Minamata sobre Mercurio.

En este sentido, se ha aplicado el enfoque de la transversalización o mainstreaming, promovido por el PNUMA, el cual tiene como visión que *la gestión racional de químicos a lo largo de ciclo de vida se convierta en una prioridad política y de inversión para desacoplar los avances del desarrollo sostenible del creciente riesgo a la salud humana y el ambiente.* Y desde esta perspectiva se exhorta a promover acciones coordinadas a nivel nacional, regional, corporativo y de la sociedad civil.

En consonancia con esta visión, en el Proyecto se llevó a cabo, como una de las actividades de cierre, el ***Taller de transversalización***, que tuvo como propósito identificar con sectores claves iniciativas que permitieran garantizar el cumplimiento efectivo por parte del país de los compromisos derivados del Convenio de Minamata.

De esta manera se hizo una labor de construcción participativa, en la que se contó con la presencia de la academia, cámaras, instituciones públicas y ONG relacionadas de forma directa o indirecta con la gestión del mercurio. En un primer momento se identificaron acciones que ya están en ejecución y

en un segundo momento se determinaron tareas que deben comenzar a ejecutarse en función de los compromisos del Convenio.

Para este proceso se seleccionaron los temas que abarcan los principales compromisos que el país debe asumir para el cumplimiento del Convenio, por lo que se definieron los siguientes:

- Fuentes de suministros y comercio de mercurio (artículo 3).
- Productos con mercurio añadido (artículo 4).
- Procesos de fabricación en los que se utiliza mercurio o compuestos de mercurio (artículo 5).
- Extracción de oro artesanal y en pequeña escala (artículo 7).
- Emisiones (artículo 8).
- Liberaciones (artículo 9).
- Desechos de mercurio(artículo 11).
- Sitios contaminados (artículo 12).
- Aspectos relacionados a la Salud (artículo 16).

Producto de un trabajo interdisciplinario e intersectorial se identificaron y priorizaron acciones que se llevan a cabo y que tienen un grado de vinculación con los compromisos del Convenio de Minamata y, por otra parte se determinaron temas prioritarios que debería implementar el país en función de dicho cumplimiento.

Los temas en donde se identificaron acciones que se están llevando a cabo fueron: suministro de mercurio, emisiones y liberaciones, desechos de mercurio y sitios contaminados. En todos ellos existe normativa que ya regula los aspectos de monitoreo y control para la gestión del mercurio en las diferentes actividades. A continuación se presenta un cuadro donde se detalla la normativa existente en cada uno de los temas mencionados.

Artículos	Acciones existentes
Artículo 3: Fuentes de suministros y comercio de mercurio Inciso (8)	La Dirección General de Adunas cuenta con una partida arancelaria específica para mercurio y compuestos de mercurio, la cual corresponde a 2852.00.00
Artículo 5: Fabricación en los que se utiliza mercurio o compuestos de mercurio Inciso (3)(7)	El país no fabrica productos con mercurio y el mismo no forma parte de ningún proceso productivo.
Artículo 8: Emisiones Inciso (3)(7)	En el tema el país cuenta con la siguiente normativa: • Reglamento sobre límites de emisiones al aire para hornos de fundición de vidrio. Decreto Ejecutivo No. 38237-S, Art. 9 • Reglamento sobre condiciones de operación y control de emisiones de instalaciones para co-incineración de residuos sólidos ordinarios, Decreto Ejecutivo No. 39136-S-MINAE. • Reglamento de requisitos, condiciones y controles para la utilización de combustibles alternos en los hornos cementeros. Decreto Ejecutivo No. 31837-S
Artículo 9: Liberaciones Inciso (3) (4)(5)	En el Decreto Ejecutivo N° 33601 de uso y vertido de aguas se establecen los parámetros para vertido de Hg: 0,01mg/l al alcantarillado y 0,01 mg/L para cuerpos receptores.
Artículo 11: Desechos de Mercurio Inciso (3)	Las baterías y los fluorescentes son residuos de manejo especial establecido en el Decreto Ejecutivo N°38272 Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial.

Artículos	Acciones existentes
Artículo 12: Sitios contaminados Inciso (1)	Reglamento sobre Valores Guía en Suelos para descontaminación de Sitios Afectados por Emergencias Ambientales y Derrames. Decreto Ejecutivo No. 37757

No obstante, pese a los avances mencionados y ante las exigencias establecidas por el Convenio se identificaron tres temas que resultan prioritarios ya que es donde el país presenta mayores desafíos y que además por su importancia ambiental y social deberían atenderse con prontitud, estos son:

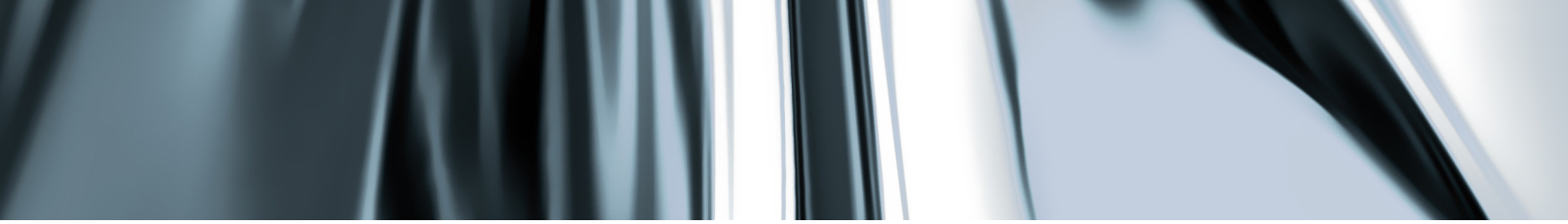
- Productos con mercurio añadido (artículo 4)
- Extracción de oro artesanal y en pequeña escala (artículo 7)
- Aspectos relacionados a la Salud (artículo 16)

En el siguiente cuadro se expone para cada uno de estos temas las acciones estratégicas que deberán desarrollarse en función de un cumplimiento efectivo del Convenio de Minamata.

Artículos	Acciones estratégicas
Artículo 4: Productos con mercurio añadido	* Establecer límites de contenido máximo de mercurio en los productos (Anexo A, parte I del Convenio) y cuando se considere necesario establecer la prohibición requerida.
Artículo 7: Extracción de oro artesanal y en pequeña escala	Promover la capacitación y sensibilización para el cambio tecnológico. Establecer un mecanismo de elaboración intersectorial del Plan de Acción establecido en este artículo, incorporando temas sociales, económicos y de capacitación.
Artículo 16: Aspectos relacionados con la salud	Desarrollar un estudio epidemiológico en la zona de Abangares donde se desarrolla la minería artesanal. Promover la elaboración de una recomendación nutricional para la ingesta de pescado.

Con la ratificación del Convenio de Minamata estas iniciativas se verán fortalecidas, y así de desafíos pasaran a ser realidades en nuestro país. Pero para que esto sea posible es necesario mantener el trabajo conjunto entre las instituciones y sectores vinculados con el tema.

La colaboración de actores clave ha permitido identificar hacia donde debe avanzar el país, por eso esas soluciones deberán construirse conjuntamente. Es momento de seguir avanzando, de articular iniciativas y potenciar al máximo los recursos para poder responder con éxito a los compromisos que los distintos instrumentos internacionales en materia ambiental nos requieren.



Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)
Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA)

ANÁLISIS ECONÓMICOS: Minería de Oro Artesanal y Sustitución de Productos Anexo A, parte I 2016

COSTA RICA
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

minae

gef

PNUD



CONTENIDO

Glosario 5

1. Metodología 7

1.1 Cadena de valor de la actividad minera artesanal de extracción de oro y análisis costo-beneficio 8

1.2 Cadena de valor de los productos con mercurio añadido, anexo A 10

2. Caracterización de la cadena de valor de la minería artesanal de extracción de oro en Costa Rica 11

2.1 Costo beneficio de la extracción de oro con mercurio añadido 13

2.1.1 Análisis privado 13

2.1.2 Análisis económico 16

2.2 Sustitutos del mercurio para la extracción artesanal de oro 19

2.2.1 Gravimetría 19

2.2.2 Cianuro 20

3. Caracterización de la cadena de valor de los productos con mercurio añadido indicados en el Anexo A y productos sujetos al artículo 4, párrafo 3 del Convenio de Minamata 22

3.1 Baterías 22

3.1.1 Comercialización de baterías con mercurio añadido 22

3.1.2 Disposición final de baterías con mercurio añadido 23

3.1.3 Sustitutos 23

3.2 Interruptores y relés 24

3.2.1 Proveedores de interruptores y relés 24

3.2.2 Comercialización de interruptores y relés 25

3.2.3 Usuario final de interruptores y relés 25

3.2.4 Disposición final de interruptores y relés 25

3.2.5 Sustitutos de interruptores y relés 25

3.3 Lámparas fluorescentes compactas, lineales, de vapor de mercurio a alta presión (HPMV), fluorescentes de catado frío y fluorescentes de electrodo externo (CCFL y EEFL) 26
3.3.1 Proveedores de lámparas con mercurio 27
3.3.2 Comercialización de lámparas con mercurio 27
3.3.3 Usuario final de lámparas con mercurio 27
3.3.4 Disposición final de lámparas con mercurio 28
3.3.5 Sustitutos de lámparas con contenido de mercurio 28
3.4 Cosméticos 30
3.4.1 Elementos generales 30
3.4.2 Proveedores de cosméticos con mercurio agregado 30
3.4.3 Sustitutos de cosméticos con mercurio agregado 30
3.5 Plaguicidas, biocidas y antisépticos de uso tópico 30
3.5.1 Efecto de los agroquímicos con mercurio añadido sobre la salud 31
3.5.2 Comercialización de agroquímicos con mercurio añadido 31
3.5.3 Sustitutos de agroquímicos con mercurio añadido 31
3.6 Aparatos de medición no electrónicos (médicos) 32
3.6.1 Proveedores de aparatos de medición no electrónicos 33
3.6.2 Usuario final de aparatos de medición no electrónicos 33
3.6.3 Disposición final de aparatos de medición no electrónicos 34
3.6.4 Sustitutos de aparatos de medición no electrónicos 34
3.7 Amalgamas dentales 35
3.7.1 Proveedores de amalgamas 36
3.7.2 Comercialización de amalgamas 37
3.7.3 Usuario final de amalgamas 37
3.7.4 Disposición final de amalgamas 37
3.7.5 Sustitutos de amalgamas 37
4. Conclusiones 39
5. Recomendaciones 41
6. Referencias 42



GLOSARIO

Términos tomados del estudio "Diagnóstico de la minería artesanal aurífera del cantón de Abangares, Costa Rica, por Ruiz, 2012".

Amalgama: Es la aleación de mercurio con oro o plata. Al entrar en contacto el mineral, las partículas de mercurio se adhieren con el oro o plata y forman una masa plástica de la cual se puede separar el oro por medio de una destilación o el quemado directo.

Colas: Materiales de desechos minero resultantes del proceso de beneficiamiento mineral.

Mercurio: Metal líquido a temperatura ordinaria de color gris y brillo metálico. Se utiliza en la amalgama para recuperar el oro. La recuperación del oro por amalgamación es baja y oscila entre 40% y el 70% del total contenido en los finos.

Minería artesanal: Modalidad del ejercicio de la actividad minera que se caracteriza por el trabajo personal y directo en la explotación de minerales y rocas, mediante equipos manuales y simples con técnicas rudimentarias.

Minería: Es toda actividad de reconocimiento, exploración y explotación de productos mineros.

Minerales: Son las substancias formadas por procesos naturales, con integración de elementos esencialmente provenientes de la corteza terrestre.

Orero: Minero artesanal que extrae oro mediante el uso de picos, palas, o barras.

Quilate: Unidad que expresa la pureza del oro contenido en una aleación, equivale a una parte de oro puro en veinticuatro partes de la masa total de la aleación, el oro puro tiene 24 quilates.

Rastra: Molinos o plantas artesanales para el beneficiamiento o proceso del mineral aurífero.

Retorta: Horno o vasija utilizada para la destilación del oro partir de la amalgama, permitiendo la recuperación del mercurio sin emitir gases de mercurio a la atmósfera.

Veta: Masa tubular de material mineral, depositada en fisuras, grietas o hendiduras de un cuerpo rocoso, y de composición distinta a la sustancia en que está incrustada.

El objetivo de este estudio es realizar un análisis del costo-beneficio de sustituir los productos con mercurio añadido indicados en el Anexo A (partes I y II) del Convenio de Minamata; adicionalmente se realiza un análisis de la cadena de valor para la minería de oro artesanal, la cual se localiza en el cantón de Abangares de la provincia de Guanacaste.

1. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el desarrollo del ¨Estudio económico de los principales sectores en Costa Rica que involucran el uso del mercurio en sus procesos o productos¨, se realiza en dos etapas.

Primeramente, se lleva a cabo un análisis de la cadena de valor de la actividad minera artesanal de extracción de oro con el uso de mercurio y un análisis de costo beneficio privado y social incluyendo las condiciones externas ambientales en el uso del mercurio. Además, se realiza una estimación de costos de tecnologías sustitutas para la extracción de oro, como es el cianuro y la gravimetría.

En segundo lugar, se analiza la cadena de valor de los productos con mercurio añadido descritos en el anexo A (parte I y II) del Convenio de Minamata (véase anexo 1 de este documento).

Se construye la cadena de valor tanto para la actividad minera artesanal como para los productos indicados en el anexo A, como se detalla seguidamente. La elaboración del mapa de la cadena de valor permite entender la dinámica dentro de la ella y los roles de los diferentes sectores involucrados, incluyendo proveedores, productores y comercializadores, como se indica de manera resumida en la figura 1.

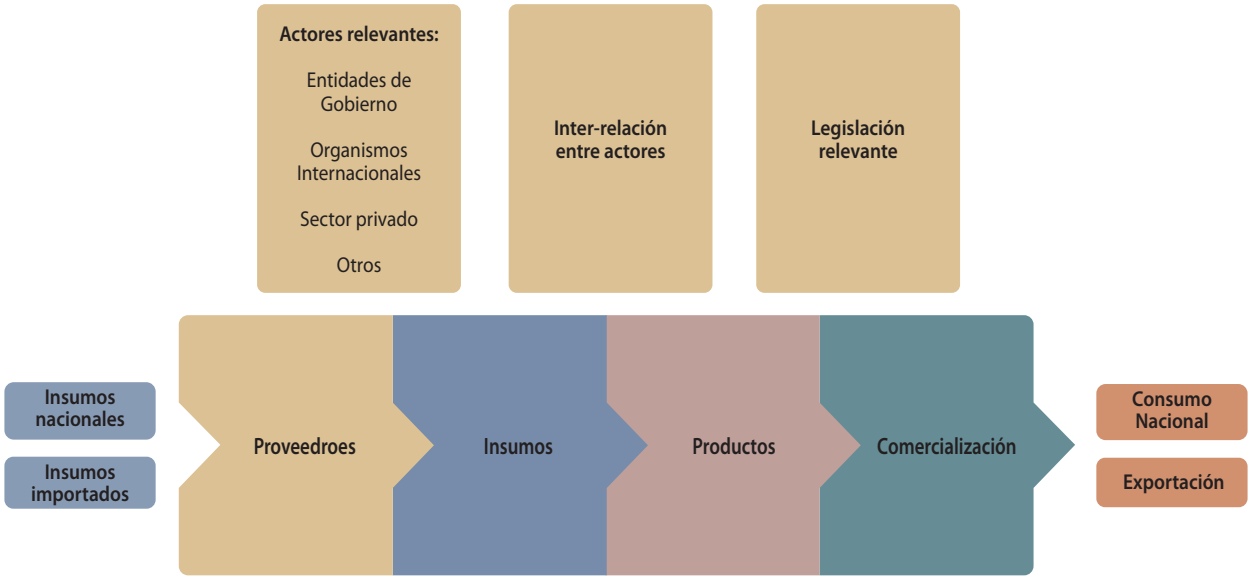


Figura 1. Mapeo de la cadena de valor

1.1 Cadena de valor de la actividad minera artesanal de extracción de oro y análisis costo-beneficio

El análisis de la cadena de valor de la minería artesanal de extracción de oro, se llevó a cabo por medio de una revisión de la información secundaria, entrevistas a actores relevantes y el levantamiento de información primaria. Este levantamiento se realizó a través de entrevistas a representantes de entidades como la Dirección de Geología y Minas (DGM), el Ministerio de Hacienda, el Banco Central de Costa Rica, la Universidad de Costa Rica (UCR), la Promotora de Comercio Exterior (PROCOMER), la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), el Ministerio de Salud, la Municipalidad de Abangares, así como otras organizaciones claves y expertos en el tema de minería. Además, se entrevistó a representantes clave de las cuatro organizaciones que agremian a los mineros artesanales de la zona de Abangares, las cuales son Coopeabangares, Coopeoro, Coopebonanza y la Asociación Nacional de Mineros (ANAMI).

El mapeo de la cadena de valor implica el análisis del proceso productivo y los actores que intervienen en él, así como la comercialización del oro extraído a nivel local e internacional. También se realiza un análisis de los costos y beneficios de la actividad minera artesanal, las tecnologías alternativas y las externalidades ambientales producto de la actividad minera.

El **análisis privado o financiero** tiene como objetivo determinar la rentabilidad de la actividad minera artesanal y determinar su viabilidad financiera. Se parte del flujo de caja de la actividad minera, el cual se construye a partir de la estimación de los ingresos y costos de un productor promedio que inicia la actividad y de un productor ya establecido. Los datos para un minero promedio se extrapolan a la población de mineros artesanales que se estiman en 700 individuos, según el censo de mineros artesanales realizado por la DGM (Ruiz, 2012). Los ingresos y costos se proyectan en colones en un espacio temporal de 10 años a partir de la tasa de crecimiento promedio del valor agregado del sector minero del año 2012 al 2016; de acuerdo con el Banco Central de Costa Rica, que se estima en 4,11%. A partir del flujo de caja, se calculan los indicadores de evaluación financiera, los cuales son el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio Costo (R:B/C).

Para calcular la rentabilidad del sector se utiliza una Tasa de Retorno Mínima Atractiva (TREMA) de la actividad, tasada como el costo de oportunidad del capital y el riesgo del sector minero, producto del riesgo país, de acuerdo a MIDEPLAN, 2011. Donde TREMA se calcula de la siguiente forma:

TREMA = COK + % riesgo, donde:

COK= Corresponde al costo de oportunidad del capital

% Riesgo = Corresponde al riesgo del sector minero, consecuencia del riesgo país.

Para estimar el costo de oportunidad del capital se utiliza la tasa de interés pasiva bruta promedio del sistema financiero para depósitos en dólares, que es de 3,49% (marzo 2016), y el riesgo país según el Banco Central de Costa Rica es de 3,75%, para una TREMA del 7,24% en dólares americanos. Por otra parte, en la metodología establecida por MIDEPLAN, 2011, se indica que la tasa social de descuento (TSD) para proyectos de inversión pública se definió en 12% como parte de la experiencia establecida con organismos internacionales. Se utiliza por tanto esta tasa debido a que la extracción de oro, aunque se realiza de forma privada, corresponde a un recurso público no renovable.

Para determinar la rentabilidad privada de la actividad de minería artesanal de extracción de oro, se calculan los siguientes indicadores:

Valor Actual Neto (VAN) privado. El VAN se define como el valor actualizado de los ingresos menos el valor actualizado de los costos, descontados a la tasa de descuento convenida (TREMA), durante el período de estimación. El VAN se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

Bt = Ingresos del año t del sector minero

Ct= Costos del año t del sector minero

t = Años correspondientes a la vida útil del sector minero que varía entre 0 y n

0 = Año de inicio de la actividad, en el cual inicia la inversión

r = TREMA

El criterio de decisión para determinar si la actividad es rentable desde el punto de vista privado, es el siguiente:

VAN > 0, la actividad es rentable

VAN = 0, la actividad es indiferente

VAN < 0, la actividad no es rentable

De acuerdo a la fórmula antes indicada se calculan los Valores Actuales Netos (VAN), los cuales se estiman para una tasa de descuento de 7,24% como se indicó anteriormente.

La **Tasa Interna de Retorno (TIR)** se define como aquella tasa de descuento que hace que el valor actual de los flujos de efectivo sea igual a cero, es decir, los ingresos actualizados sean iguales a los costos actualizados, como se indica en la siguiente fórmula:

$$0 = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

Bt = Ingresos del año t del sector minero

Ct = Costos del año t del sector minero

t = Años correspondientes a la vida útil de la actividad, que varía entre 0 y n

0 = Año en que inicia la inversión de la actividad

r = TIR

La TIR privada mide la rentabilidad financiera de la actividad, la cual se compara con la TREMA de la actividad minera que mide el costo de oportunidad del dinero al mejor rendimiento. El criterio de decisión sería el siguiente:

Si la TIR > TREMA, la actividad es rentable

Si la TIR = TREMA, la actividad es indiferente

Si la TIR < TREMA, la actividad no es rentable

La **Relación Beneficio Costo (R B/C)** relaciona la sumatoria de todos los costos actualizados de la actividad con la sumatoria de todos los ingresos actualizados durante el período de estimación, descontados a la tasa de descuento (TREMA) del mismo, cuya fórmula de cálculo es la siguiente:

$$R\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t}^{n} = 0 \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t}^{n} = 0 \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

Donde:

B_t = Ingresos del año t de la actividad minera

C_t = Costos del año t de la actividad minera

t = Años correspondientes a la vida útil de la actividad minera, que varía entre 0 y n

0 = Año en que inicia la inversión de la actividad minera

r = TREMA

El criterio de decisión es el siguiente:

Si la R B/C > 1, la actividad es rentable

Si la R B/C = 1, la actividad es indiferente

Si la R B/C < 1, la actividad no es rentable

El **análisis económico** es un análisis complementario al financiero, lo que permite incorporar los criterios de las condiciones externas ambientales. Es de importancia que la actividad de minería artesanal de extracción de oro no solamente sea rentable desde un punto de vista financiero, sino que presente aportes significativos para la sociedad. La evaluación financiera de la actividad determina la utilidad o beneficio monetario que perciben los mineros artesanales sobre la base de precios de mercado. En tanto el análisis económico ambiental se sustenta en el uso de precios sociales y mide el efecto que ejerce la actividad en la sociedad, que en este caso es el impacto de la actividad de minería artesanal de extracción de oro sobre la sociedad.

Finalmente, se realiza una identificación de las alternativas tecnológicas para la sustitución del uso del mercurio y los costos asociados a dicho reemplazo, como son el uso de cianuro y gravimetría.

1.2 Cadena de valor de los productos con mercurio añadido, anexo A

En relación a los productos con mercurio añadido incluidos en el anexo A (parte I y II) del Convenio de Minamata, se realiza un análisis de la cadena de cada uno de los productos a través de entrevistas presenciales y telefónicas a representantes de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), la organización no gubernamental Salud sin Daño, dentistas, colegios profesionales, empresas y expertos identificados durante el proceso de desarrollo de la consultoría. Las cantidades y montos de importación de los productos con mercurio añadido se obtuvieron del Ministerio de Hacienda y la Promotora de Comercio Exterior (PROCOMER). La lista de productos con mercurio añadido se incluye en el anexo 1.

Las cadenas se analizan, según la información disponible, tal y como se indica en la figura 2, donde se identifican los importadores, el país de origen, los distribuidores, usuarios finales y la manera en que se hace la disposición de residuos en caso de que los productos sean utilizados en el país, incluyendo cantidades importadas y distribuidas, y precios de venta. Se realiza también un análisis de costos de los productos sustitutos identificados con el fin de cuantificar el costo de incrementar la sustitución de los productos con mercurio añadido.

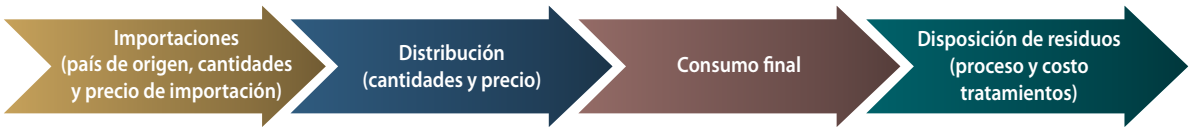


Figura 2. Cadena de valor simplificada para los productos con mercurio añadido

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LA MINERÍA ARTESANAL DE EXTRACCIÓN DE ORO EN COSTA RICA

La extracción artesanal de oro se realiza principalmente en el cantón de Abangares, cuyo origen está asociado con la explotación de minas de oro y es conocido como el cantón minero de Costa Rica; allí se explota roca caliza, arcilla, materiales aluviales o de cauce, oro y plata como un subproducto (Ruiz, 2012). La extracción artesanal de oro se produce en otros cantones del país como Miramar de Montes de Oro y Osa en el Parque Nacional Corcovado. En Miramar se produce extracción de oro de una manera similar a la de Abangares, en tanto que en Corcovado el oro se extrae del cauce de los ríos. En el Censo de población del 2011 se indica que cerca del 1% de la población en Montes de Oro se dedica a la minería y un 0,2% en Osa.

En el cantón de Abangares 700 personas se dedican a la actividad minera artesanal (Ruiz, 2012); sin embargo, el gestor ambiental de la Municipalidad de Abangares ¨indicó que cerca de un 20% de los oreros artesanales están agremiados en cuatro organizaciones, tres cooperativas (Coopeoro, Coopeabangares y Coopebonanza) y la ANAMI, el resto de los oreros trabajan de manera independiente, usando el mercurio como medio para la extracción de oro¨, (José Francisco Bogantes, comunicación personal, 4 de marzo, 2016).

De los oreros entrevistados, el 33% señaló que se ha dedicado a la actividad de extracción de oro entre 11 a 20 años, un 25% entre 21 y 30 años y un 25% más de 31 años, lo que refleja el arraigo de la actividad en la zona, que además es principalmente familiar según indicó el 58% de los entrevistados. La mayoría, 40% de los entrevistados, trabajan seis días a la semana y un 75% señaló que pertenecer a una cooperativa o asociación les genera un beneficio pues les permite trabajar legalmente.

En relación a otras actividades económicas, un 58% de los entrevistados indicó que, además de la minería artesanal, realizan otras actividades como son el comercio, la agricultura y la ganadería. De acuerdo con el Censo de Población desarrollado por el INEC, 2011, Abangares tenía una población de 18.039 habitantes, de los cuales el 24% se dedicaba a la agricultura, 15% al comercio, 13% a la industria manufacturera, 7% al alojamiento y servicios de comida, 6% a minas y canteras, así como al suministro de electricidad y gas, y un 5% de la población a la construcción.

Proceso de extracción de oro

La extracción de oro en Abangares se realiza de una manera artesanal como lo indica el diagrama que se presenta en la figura 3. Todos los oreros entrevistados señalaron que para extraer la piedra utilizan principalmente pico, pala, mazo o algún tipo de taladro (rota martillo), solo el 25% de los entrevistados mencionó que utilizan explosivos para la extracción en la mina. El material se almacena en sacos y se transporta al lugar donde se quiebra con un quebrador rústico, luego el material se muele en las rastras junto con agua y mercurio. El 80% de los entrevistados indicó que la rastra es propia. Según el ingeniero en minería Néstor Chamorro, “los mineros muelen aproximadamente una tonelada diaria de material y obtienen en promedio 12 gramos de oro por tonelada, con un 40% de recuperación y en un estudio realizado por él en la zona logró identificar 425 rastras”, (Ing. Néstor Chamorro, comunicación personal, 14 de marzo, 2016).

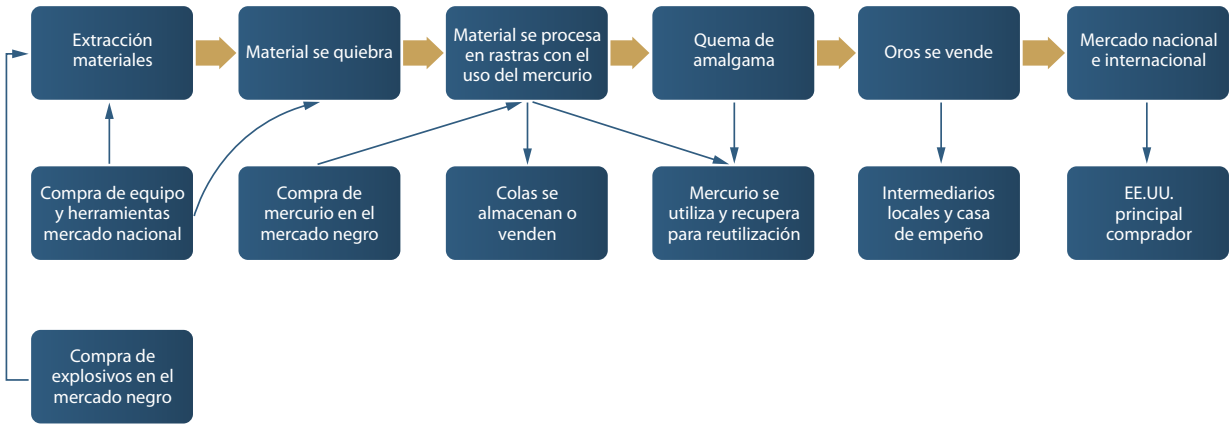


Figura 3. Proceso extracción y procesamiento de oro de manera artesanal

Fuente: Elaboración propia

Sobre el agua utilizada en el proceso, un 14% es suministrada por el acueducto comunal o municipal, el resto utiliza agua del río, de pozo o de naciente. El mercurio utilizado en el proceso de extracción del oro es comprado en el mercado informal, el 55% de los entrevistados indicaron que lo compran localmente, pero proviene de Nicaragua y de México. El mercurio proveniente de Nicaragua según indican los oreros es de calidad regular a mala, en tanto que el mexicano es de una mejor calidad o mayor pureza. El mercurio es transportado en envases plásticos sin rotulación o en envases de refrescos de marcas conocidas, con un peso de un kilogramo. Es vendido a los mineros artesanales de Abangares a un precio promedio de ¢53.750 ($99,5) el kilogramo, con precios que oscilan entre los ¢30.000 ($55,5) a ¢90.000 ($166,7) el kilogramo. Una vez finalizado el proceso en las rastras, el mercurio es recuperado en la retorta y se reutiliza hasta que se evapora en su totalidad.

Del proceso de moler el material en las rastras sale lo que se denominan colas, que es el material sobrante, el cual se acumula cerca del lugar donde procesan el oro. Los mineros indicaron que acumulan las colas y las venden en caso de contar con algún comprador interesado. Por ejemplo, en años anteriores las colas eran vendidas a una empresa local que procesaba oro con cianuro. La amalgama (oro con mercurio) primero se filtra con una manta y luego se quema en una retorta cerca de la rastra donde se extrae el oro, con protección personal mínima como guantes y mascarilla. El oro que se extrae en promedio es de 14 a 18 quilates.

Comercialización del oro

El oro se vende a compradores locales y casas de empeño en el Área Metropolitana. El precio al que compran el oro los intermediarios a los oreros depende del quilataje, pero el precio es de ¢9.000 ($17) a ¢13.000 ($24,5) por gramo. En la figura 4, se resume la cadena de valor de la minería artesanal de oro de Abangares.

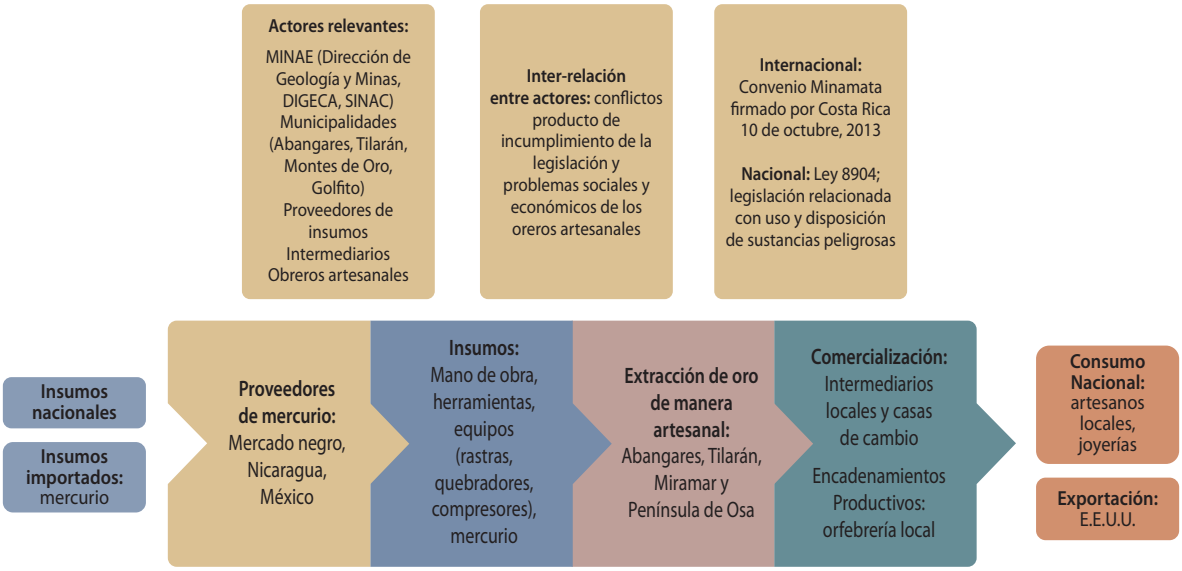


Figura 4. Cadena de valor de la extracción artesanal de oro en Costa Rica

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con información de PROCOMER, la mayor parte del oro que se extrae de la actividad minera o chatarra, es exportado en bruto a EE.UU., y a otros países como Panamá, Reino Unido, Canadá, México, Japón, Malasia y Nicaragua. Las exportaciones FOB de oro en dólares se han reducido del año 2011 al 2015, pasando de $34,3 a $18,6 millones en el 2015. En tanto que las exportaciones en toneladas de oro han pasado de 66,5 toneladas en el año 2011; 57,4 toneladas en el 2012 a 366,2 toneladas en el 2013; 265,2 toneladas en el 2014 y 186,9 toneladas en el 2015. Dichas cantidades parecieran elevadas para un país como Costa Rica donde la actividad minera que se desarrolla es de carácter artesanal, en ese sentido, se recomienda el establecimiento de una alianza entre MINAE y PROCOMER para la verificación de las estadísticas.

2.1 Costo beneficio de la extracción de oro con mercurio añadido

2.1.1 Análisis privado

Los ingresos privados en promedio para un minero artesanal de extracción de oro en Abangares se estiman en ¢13,3 millones ($24.633) al año. Los ingresos se estiman de acuerdo a la información suministrada por los mineros en las encuestas realizadas en marzo del 2016, bajo los siguientes supuestos:

- Cada minero extrae 6,5 gramos de oro por rastra por día
- El precio de venta del oro es de ¢11.730 ($21,7) por gramo
- La cantidad de oro extraído por productos es de 1,134 gramos por año
- Se estiman los ingresos y costos para un productor promedio que inicia la actividad y para un productor ya establecido.
- En promedio cada minero tiene 0,6 rastras
- Cada minero trabaja seis días a la semana intercalando labores de extracción de material, molienda y recuperación de oro
- La población de mineros asciende a 700 personas (Ruiz, 2012)
- Tipo de cambio utilizado fue de ¢540 colones por $1, correspondiente al 21 de marzo, 2016 (BCCR, 2016)

Los ingresos se proyectan para un periodo de 10 años del 2016 al 2025, utilizando una tasa de crecimiento promedio del 4,11%, que corresponde al crecimiento promedio del valor agregado del sector de minas y canteras del 2012 al 2016 (BCCR, 2016)

A partir de dichos supuestos se estima que la extracción anual para un minero promedio es de 1,134 gramos por año. Los ingresos para el sector se calculan en ¢9.311,3 millones para el año 1, que equivale a $17,2 millones (véase cuadro 1). En el anexo 4 se muestra la proyección de ingresos para el sector del 2016 al 2025, los cuales crecen de manera constante, según el crecimiento promedio del sector (véase supuestos) para el 2025 los ingresos se estimaron en ¢13.379,5 ($24,8 millones).

Cuadro 1. Estimación de ingresos del sector de minería artesanal de extracción de oro en Abangares

Ingresos	Unidad de medida	Cantidad por año	Precio (colones)	Total ingresos por minero para el año 1 (colones)	Total ingresos sector año 1
Venta de oro	gramos	1.134	¢11.730	¢13.301.820	¢9.311.274.000
Total de ingresos (¢)				¢13.301.820	¢9.311.274.000
Total ingresos ($)			22	$24.633	$17.243.100
Fuente: Estimación realizada a partir de resultados de aplicación de encuesta de marzo, 2016					

En el cuadro 2 se detallan los costos estimados para la minería artesanal de extracción de oro para un minero que inicia la actividad. Como parte de los costos, se cuantificaron los costos de operación, incluyendo electricidad, agua, mercurio, picos, palas, sacos, linternas, botas de hule, cascos, explosivos, combustible –gasolina y diésel-, guantes, mazos, mechas, brocas; así como las inversiones en las rastras, vehículos, compresor de aire, rotomartillos, quebrador, planta, máquina de barrenar, mantenimiento de las rastras y depreciación de equipos, que son comprados por un minero al inicio de la actividad. Estos costos no incluyen el pago de mano de obra, CCSS, impuestos o pagos financieros debido a que la actividad es informal. Los costos para un minero promedio que inicia la actividad, se estiman en ¢14,2 millones ($26.354,9) para el año 1 y en ¢9.962,2 millones ($18,4 millones) para el sector minero artesanal para el año 1. En tanto que para un minero que se dedica a la actividad con anterioridad, los costos en promedio del año 2 al 10 se estiman ¢10,7 millones ($19.933) y para el sector en ¢7.534,5 millones ($13,9 millones).

Cuadro 2. Costos estimados para la extracción artesanal de oro, Las Juntas de Abangares, año 1.

Costos	Unidad de medida	Cantidad por año	Precio (Colones)	Total costos individuales para el año 1 (colones)	Total de costos del sector año 1
1. Pago de peones	mes		¢260.000	0	0
2. CCSS					
3. Costos de operación				¢4.937.004	¢3.455.902.902
3.1. Electricidad	mes	12,0	¢10.000	¢120.000	¢84.000.000
3.2.Agua	mes	12,0	¢2.500	¢30.000	¢21.000.000
3.3. Mercurio en kilogramos	Kilogramos	7,2	¢53.750	¢387.000	¢270.900.000
3.4. Picos	unidad	2,0	¢7.784	¢15.568	¢10.897.782
3.5. Palas	unidad	4,0	¢6.300	¢25.199	¢17.638.992
3.6. Sacos	unidad	8916,0	¢96	¢855.936	¢599.155.200

Costos	Unidad de medida	Cantidad por año	Precio (Colones)	Total costos individuales para el año 1 (colones)	Total de costos del sector año 1
3.7. Linternas	unidad	10,0	¢19.950	¢199.500	¢139.650.000
3.8. Botas de hule	unidad	12,0	¢6.235	¢74.816	¢52.371.144
3.9. Cascos	unidad	6,0	¢7.995	¢47.970	¢33.579.000
3.10. Explosivos	Caja de 10 unidades	12,0	¢175.000	¢2.100.000	¢1.470.000.000
3.11. Gasolina	Litros	908,5	¢424	¢385.192	¢269.634.490
3.12. Guantes	unidad	4,0	¢2.000	¢8.000	¢5.600.000
3.13. Mazo	unidad	2,0	¢7.500	¢15.000	¢10.500.000
3.14. Mecha	metro	122,0	¢1.750	¢213.500	¢149.450.000
3.15. Brocas	unidad	6,0	¢50.000	¢300.000	¢210.000.000
3.16. Diesel	Litros	461,8	¢345	¢159.323	¢111.526.294
4. Inversiones				¢9.294.650	¢6.506.255.000
4.1. Rastra	unidad	0,6	¢3.300.000	¢1.980.000	¢1.386.000.000
4.2.Depreciación rastra					
4.3. Vehículo	unidad	1,0	¢3.000.000	¢3.000.000	¢2.100.000.000
4.4.Depreciación de vehículo					
4.5. Compresor de aire	unidad	1,0	¢199.500	¢199.500	¢139.650.000
4.6. Rotomartillo o taladro de impacto	unidad	2,0	¢355.000	¢710.000	¢497.000.000
4.7. Quebrador	unidad	1,0	¢2.000.000	¢2.000.000	¢1.400.000.000
4.8.Mantenimiento quebrador	unidad	1,0			
4.8. Planta	unidad	1,0	¢250.000	¢250.000	¢175.000.000
4.9. Máquina de barrenar	unidad	1,1	¢470.000	¢528.750	¢370.125.000
4.10. Mantenimiento de las rastras	unidad	0,6	¢1.044.000	¢626.400	¢438.480.000
Total de costos				¢14.231.654	¢9.962.157.902

Fuente: Elaboración propia con base en Encuesta aplicada al sector minero artesanal de Las Juntas de Abangares, marzo, 2016.

En el cuadro 3 se presentan los beneficios privados netos –promedio- para el sector minero artesanal que inicia la actividad para el año 1 que corresponden a ¢650,9 millones para el sector, equivalentes a $1,2 millones. Asimismo, los beneficios netos para el sector para el año 2 se estiman en 3.780,6 millones de colones ($7 millones). En el Anexo 4 se presenta la proyección de beneficios netos para el sector del año 2016 al 2025 (del año 1 al 10).

Cuadro 3. Estimación de beneficios netos para un minero promedio y para el sector minero artesanal de extracción de oro, Abangares, Años 1 y 2.

Rubro	Año 1	Año 2
Ingresos venta de oro (millones de colones)	¢9.311,3	¢9.694,0
Costos extracción y procesamiento oro (millones de colones)	¢9.962,2	¢3.780,6
Beneficios netos sector minero artesanal (millones de colones)	¢-650,9	¢3.780,6
Beneficios netos sector minero artesanal (millones de dólares)	¢-1,2	¢7,0
Fuente: Elaboración propia		

De acuerdo a las variables financieras estimadas, la actividad de minería artesanal es poco rentable. El Valor Actual Neto (VAN) privado acumulado es de $41,7 millones, considerando las inversiones iniciales en el año 1, cuando la actividad inicia, es positivo y es un indicador de rentabilidad; los otros dos indicadores el TIR y la relación B/C reflejan que la actividad no es rentable. La TIR aunque es positiva, de 5,7% es inferior a la TREMA (7,24%), y para alcanzar un nivel de rentabilidad aceptable la TIR debe ser mayor a la TREMA. En igual medida, la relación B/C es de 0,4%, menor que 1, lo que confirma que la actividad de minería artesanal es poco rentable.

Por otra parte, el VAN para la actividad minera ya establecida se estima en $45,9 millones, lo que indica que la actividad, desde el punto de vista de este indicador, es rentable. No obstante, la TIR solo se calcula para actividades en su etapa inicial. La relación B/C se calculó en 0,47%, lo que muestra que la actividad minera ya establecida, al igual que una que inicia, es poco rentable. En ambos casos se requiere buscar alternativas tecnológicas que permitan incrementar los rendimientos.

2.1.2 Análisis económico

En el análisis económico se incluyen las externalidades negativas o costos ambientales identificados, producto del uso del mercurio en la actividad minera artesanal de extracción de oro en Abangares. Las condiciones externas identificadas son las siguientes:

- Efecto del uso del mercurio en la actividad minera sobre la salud
- Efecto del uso del mercurio en la actividad minera sobre el ecosistema

Estas condiciones externas se cuantifican en caso de identificar información científica que las sustente en el caso analizado.

Efecto del uso del mercurio en la actividad minera sobre el ecosistema

En el caso del efecto sobre el ambiente, la Universidad de Costa Rica en el marco del "Proyecto de gestión integral del recurso hídrico en la cuenca del río Abangares para su utilización prioritaria en consumo humano", tomó muestras de sedimento y agua en los ríos, en el caso de la arcilla y las rastras, los análisis se hicieron en el material sólido. De acuerdo con los resultados obtenidos, no se identificó presencia de mercurio en las muestras.

De forma similar en el "Estudio Geológico Miramar, Chapernal, Las Juntas" realizado por el Servicio Geológico de la República Checa y la Dirección de Geología y Minas en el 2010, se verificó la calidad de las aguas subterráneas y superficiales en localidades vinculadas con la actividad minera. De acuerdo con los resultados de los análisis hidroquímicos de las muestras de agua, ni las aguas subterráneas ni superficiales cerca de las minas comprobadas han sido contaminadas con la actividad minera. Todas las muestras estudiadas por el grupo de investigadores de la República Checa cumplen con los límites permisibles de concentración de cada uno de los componentes establecidos en el Decreto No.38924 Reglamento para la calidad del agua potable, 2004 del MINSA, los estándares establecidos por la Organización Mundial de la

Salud (OMS) y conforme con la legislación de la Comunidad Europea (Directiva 98/83/CE sobre la calidad de las aguas destinadas al consumo humano) y establece los límites de higiene de los indicadores de la calidad del agua potable el Decreto de Gobierno No 61/2003 de la República Checa. La excepción en las aguas de mina son los resultados encontrados en los depósitos de captura de la mina Bellavista (situación en el 2008) con contenido de cianuro libre (HCN), que sobrepasan las concentraciones máximas establecidas en el Decreto de Gobierno de la República Checa No 61/2003; y las aguas de mina que fluyen de la mina El Recio (túnel 370) en el cual se encontraron niveles elevados de Litio (Li), Sodio (Na), Calcio (Ca), Ion de Sulfatos (SO_4), Cloro (Cl), mientras que el nivel de Arsénico (As) excede 26 veces más el límite de establecido en el Decreto de Gobierno No 61/2003 de la República Checa.

Por otra parte, en un estudio desarrollado por Sandoval-Herrera, Vargas-Soto, Espinoza, Clarke, Fisk and Wehrtmann (2015), se analizó la presencia de mercurio en los tiburones en el pacífico de Costa Rica. La mayoría del mercurio liberado en el ambiente marino es inorgánico, una porción es biotransformada en metilmercurio (MeHg), una sustancia más tóxica y bioacumulable. El metilmercurio representa más del 95% del total de las sustancias encontradas en el músculo de los pescados, que tiene efectos secundarios como conductas negativas, impactos hormonales y reproductivos, así como lesiones cerebrales. El estudio concluye que las variaciones en las concentraciones de mercurio están influenciadas por la ecología de la alimentación de los peces, diferencias fisiológicas y la capacidad metabólica en el procesamiento del mercurio. A pesar de la presencia de fuentes naturales de mercurio, como podrían ser las volcánicas en Costa Rica, se encontraron bajas concentraciones de mercurio –en el músculo de los tiburones-, comparado con especies similares en otras partes del mundo.

En ninguno de los estudios indicados se encontró residuos de mercurio, por tanto en el análisis costo beneficio económico no se incluye el efecto del uso del mercurio sobre el ambiente.

Efecto del uso del mercurio en la actividad minera sobre la salud

De acuerdo a la OMS (2013), el mercurio existe en varios estados, uno es el elemental o metálico e inorgánico, al que la gente se puede ver expuesta en ciertos trabajos, y el orgánico, como el metilmercurio, que penetra en el cuerpo humano por vía alimentaria. Estas formas de mercurio difieren por su grado de toxicidad y sus efectos sobre los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel y los pulmones, riñones y ojos. El mercurio, presente en el ambiente puede provenir de forma natural a través de la actividad volcánica, la erosión de las rocas o bien por actividades antropogénicas. Esta última es la principal causa de las emisiones de mercurio, procedentes de procesos industriales y de la extracción minera de mercurio, oro y otros metales. Una vez liberado en el ambiente, ciertas bacterias pueden transformar el mercurio en metilmercurio, que es el que se acumula en peces y mariscos. Los grandes peces depredadores, por ejemplo, tienen más probabilidades de presentar niveles elevados de mercurio por haber devorado a muchos peces pequeños que, a su vez, lo habrán ingerido al alimentarse de plancton.

Según entrevista realizada al Dr. Ricardo Díaz del Ministerio de Salud Pública (MINSA), en la zona de Abangares, "en la etapa de quemado de la amalgama, es el proceso en donde los mineros y sus familias se encuentran más expuestos a los vapores del mercurio lo cual podría generar efectos sobre la salud. Sin embargo con la técnica de retorta se puede reducir considerablemente la evaporación y el efecto sobre las personas", (Dr. Ricardo Díaz, Comunicación personal, 4 de marzo, 2016).

De acuerdo a entrevista realizada a la Dra. Melissa Masis, neumóloga y médica internista de la Clínica Católica y del Hospital Calderón Guardia, lo que más se describe en la literatura como se indica en los estudios realizados por Park & Zheng, 2012; Kim et al, 2016, es la intoxicación crónica, donde las personas pueden sufrir manifestaciones a nivel neurológico pero las más comunes son Alzheimer, cambios en el comportamiento, esquizofrenia, depresión, mal de Parkinson y cambios bruscos de estado de ánimo, pero no son casos graves que se deban de tratar porque no son eventos neurovasculares. Sin embargo, no hay una enfermedad en particular o un tratamiento específico para la intoxicación con mercurio, al

menos que sea un evento particular, se trata la enfermedad que puede ser ocasionada por diversas causas, (Dra. Melissa Masis, Comunicación personal, 14 de abril, 2016).

De acuerdo con el Dr. Díaz, "se debe considerar que ni el Ministerio de Salud (MINSA), ni la CCSS han realizado estudios epidemiológicos que permitan determinar con certeza el impacto del uso del mercurio sobre los mineros artesanales de Abangares", (Dr. Ricardo Díaz, Comunicación personal, 4 de marzo, 2016). En este mismo sentido, el Dr. José Antonio Castro, médico epidemiólogo del Área de Farmacoeconomía de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), "indica que la deficiencia que tiene el país respecto al control del mercurio es que el mismo no se encuentra dentro de los eventos de vigilancia a nivel país, la información que existe, es la que se ha detectado por diagnóstico del médico, sin embargo el Dr. Castro indicó que 'no logró identificar casos en los expedientes de la CCSS'", (Dr. José Antonio Castro, Comunicación personal, 15 de abril del 2016).

El Dr. Castro también indicó que solo hay un laboratorio a nivel nacional que monitorea el mercurio, es el Laboratorio de Metrología del Hospital San Juan de Dios, el cual realiza el estudio para ello. Debido a la detección de problemas de insuficiencia renal en Guanacaste, se hizo un estudio para determinar la relación con metales o sustancias específicas, pero la cantidad de muestras era insuficiente y no se logró encontrar una correlación con el mercurio y se detectó que este ra un asunto más bien por deshidratación y efecto del trabajo en estas personas", (Dr. José Antonio Castro, Comunicación personal, 15 de abril del 2016).

En el estudio realizado por Ruiz S. (2012), se hicieron análisis en sangre para la detección del mercurio en 60 oreros, de los cuales 7 (11,7%) sobrepasaron el límite de detección de 0,3 mg/dL, correspondiente a aquellos oreros que queman la amalgama e inhalan los vapores de mercurio liberado al ambiente. De acuerdo con el Dr. José Antonio Castro, "en caso de detectarse una intoxicación por mercurio, lo que procede es el tratamiento del paciente, para lo cual existen tres tipos de medicamentos: DMSA, BAL y la Penicilamina. Sin embargo, la CCSS solo dispone de este último medicamento, que actúa como un quelante que absorbe las moléculas de mercurio para que se puedan desechar, es el mejor tratamiento que dispone la CCSS, debido a que la intoxicación por mercurio se produce en escasas ocasiones, no es posible disponer de más tratamientos para ello. Para detectar el mercurio se realiza un examen llamado 'electrolitos, metales y otros por absorción atómica' que le cuesta a la CCSS 18.481 colones ($34,2), según el modelo tarifario vigente para el Primer Semestre 2016, cada tableta de Penicilamina cuesta 150 colones ($0,3), según el Sistema de Información de Suministros de la CCSS y se da una dosis de 25mg por kilogramo por día, dividido en 3 dosis (6 tabletas por día para pacientes adultos) y el tratamiento se toma usualmente durante 3 meses, aunque todo depende del grado de intoxicación", (Dr. José Antonio Castro, Comunicación personal, 15 de abril del 2016).

A partir del estudio desarrollado por Ruiz, donde se identifica la presencia del mercurio en el 11,7% de los oreros, se realiza una estimación de los costos de enfermedad a partir del tratamiento de intoxicaciones por mercurio. El costo de la intoxicación por mercurio de la población de mineros artesanales de Abangares se estima a partir de los siguientes supuestos:

- El 11,7% de los mineros artesanales sufren intoxicación por mercurio, lo que equivale a 82 personas, dado que la población de oreros se estima en 700 individuos.
- El tratamiento requerido es un examen de electrolitos, metales y otros por absorción atómica que permita la detección de mercurio en sangre y la prescripción de Penicilamina, donde el paciente debe tomar 6 tabletas por día con un costo de ¢150 ($0,3) la tableta por un periodo de 90 días.

A partir de dichos supuestos se determina que el costo para tratar una persona intoxicada con mercurio es de ¢99.481 ($184,2) y para el 11,7% de la población es de ¢8,2 millones ($15.106). Los costos se proyectaron al año 2025 a partir del crecimiento del valor agregado del sector minero, como se indica en la sección de Costo Beneficio Privado.

Cuadro 4. Estimación de costos por el tratamiento de intoxicación con mercurio en colones corrientes, año 1.

Tratamiento de intoxicación con mercurio	Costo por persona (Colones)	Costo total (Colones)	Costo total ($)
Examen de electrolitos, metales y otros por absorción atómica	¢18.481	¢1.515.442	$2.806
Tratamiento con Penicilamina (6 tabletas por día con un costo de 150 colones la tableta por 90 días.	¢81.000	¢6.642.000	$12.300
Total	**¢99.481**	**¢8.157.442**	**$15.106**

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo tarifario vigente para el primer semestre del 2016 de la CCSS e información suministrada por el Dr. José Antonio Castro.
Nota: Se considera un tipo de cambio de ¢540 por dólar.

Para la estimación del análisis Costo Beneficio Social (CB Social), se calcula a partir del ajuste del Costo Beneficio Privado incluyendo el efecto sobre la salud, producto de la intoxicación con mercurio consecuencia de la actividad minera artesanal. Se calculan las variables financieras TIR, VAN y la relación B/C ajustadas con la tasa de descuento social del 12%.

A partir de los resultados del análisis CB Social se determina que la actividad de minería artesanal con la introducción de la externalidad negativa de intoxicación por mercurio, es poco rentable desde el punto de vista social. Como se muestra en el cuadro 5, el VAN social es positivo al igual que el privado, pero la TIR en ambos casos es menor que las tasas de descuento utilizadas y las relaciones B/C son menores a 1, lo que indica que la actividad muestra bajos niveles de rentabilidad. Los indicadores también determinan que la actividad minera artesanal es poco viable tanto desde el punto de vista privado como social, por tanto se requiere la instrucción de mejores prácticas que permitan incrementar los niveles rentabilidad para los mineros y una reducción en el efecto que la misma tiene sobre la salud de los productores, reduciendo el impacto social negativo de la actividad.

Cuadro 5. Estimación Costo Beneficio Privado y Social para la actividad minera artesanal de Abangares.

Indicadores	CB Privado (Tasa descuento 7,24%)	CB Social (Tasa descuento 12%)
VAN	$41.652.529	$32.303.579
TIR	5,27%	4,9%
B/C	0,41	0,40

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del análisis costo beneficio.

2.2 Sustitutos del mercurio para la extracción artesanal de oro

2.2.1 Gravimetría

En la guía práctica para la reducción del uso del mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala de PNUMA, 2012, se plantea la eliminación del uso del mercurio a través de tecnologías alternativas. La selección de una tecnología depende del tipo de depósito mineral, del tamaño del grano y de la mineralogía del oro, acceso a capital y el conocimiento técnico necesario. Las tecnologías recomendadas

son canaletas o canales, concentradores centrífugos, concentradores en espiral, ciclón o vórtice, mesas concentradoras o vibratorias, flotación e imanes.

Como una opción para la sustitución del uso del mercurio en la recuperación de oro en la minería artesanal en Costa Rica, la Dirección de Geología y Minas plantea la gravimetría como una alternativa a partir de un análisis de las diferentes tecnologías que están siendo utilizadas en otros países a nivel mundial. En el 2013 esta dirección realizó un estudio sobre el uso de la tecnología recomendada, aunque existen diversos equipos el estudio se enfocó en los Concentradores ICON como una opción. Para ello realizó la extracción de 8 muestras de 20 kg cada una de material con oro libre, encapsulado, sulfurosos y lamas, que fue triturado y pulverizado hasta obtener el tamaño recomendado (<2mm ó malla de 10), material que fue enviado a Nicaragua para realizar diferentes pruebas y conocer el rendimiento de este tipo de equipos. Las muestras fueron corridas en un concentrador de laboratorio equivalente al ICON-I150, resultados que fueron posteriormente analizados en Costa Rica.

Los resultados de los concentrados y las colas dieron rendimientos del 14,3% al 65,7%, superiores a los alcanzados con el uso del mercurio que es de aproximadamente un 40%. A partir de los resultados se recomendó el concentrador ICON-I150, pero debe trabajarse en la trituración y molienda del mineral, y se ha de contar con un flujo de agua limpia, constante y eficiente; se recomienda tener conocimiento del ambiente geológico y de la mineralización del material a procesar para poder regular los parámetros de los concentradores y obtener mayores niveles de eficiencia (Gómez, 2013a).

El concentrador iCON i150 usa la tecnología del concentrador FALCON que fue creado para capturar todos los minerales pesados como el oro y la plata. Utiliza el principio del campo centrífugo para concentrar los minerales libres y muy finos, que no son recuperables mediante las técnicas tradicionales de la minería de pequeña escala o artesanal. Durante la operación el material minero se alimenta como una mezcla de minerales y agua en un recipiente giratorio que incluye unas ranuras especiales que funcionan como atrapadores de los materiales más pesados. El concentrado rico por lo general es enjuagado periódicamente y requerirá de un tratamiento especializado para convertirlo en un producto de oro final (Gómez, 2013b).

El costo del ICON il50 es de $9.450 e incluye el costo del equipo, pago de impuestos de aduanas en Costa Rica y transporte internacional de Estados Unidos, como se indica en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Costos de importación del aparato ICON i150

Detalle	Costo	Fuente
Aparato ICON i150	$7.700	Consulta a la empresa
Impuestos en aduanas	$1.078	Red Logistic (14% del valor)
Transporte internacional	$672	Red Logistic (calculadora)
Total	**$9.450**	

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 Cianuro

La utilización de cianuro es otra de las opciones planteadas para la minería artesanal de extracción de oro en Abangares. Según el ingeniero en mineria Néstor Chamorro, “para la utilización del cianuro se requiere de mayor tecnología e industrialización que con el uso del mercurio, y se puede obtener una recuperación superior al 90% y oro de mayor quilataje –hasta 21-. El costo de la inversión para el establecimiento de una planta de este tipo varía, pero en promedio el costo asciende a $3 millones para el procesamiento de 50 toneladas de material por día y los costos de producción se estiman en $700 por cada onza de oro”, (Ing. Néstor Chamorro, Comuni-

cación personal, 14 de marzo, 2016). De forma similar Jorge Obando de la Mina Chassoul indicó que "de acuerdo a estudios realizados en México y Colombia los costos de producción con cianuro se estiman de $650 a $750 la onza de oro, la reducción o incremento en los costos depende principalmente de economía de escala, a mayor producción menor precio", (Jorge Obando, Comunicación personal, 19 de abril, 2016).

El proceso varía y la inversión requerida es mucho más alta. Después de triturar y moler la roca, se libera el oro y la plata en las autoclaves, máquinas de presión que permitirán que los procesos de extracción se lleven a cabo en un ciclo cerrado y hermético. El oro y la plata se disuelven en presencia de cianuro lo que permite su separación del mineral molido y pulverizado. Luego se realizan varios procesos de purificación para obtener un lodo con alta concentración de oro y plata, el cual puede ser fundido para obtener el doré, mezcla de oro y plata. El cianuro que se utilizó para disolver el oro y la plata se destruye, proceso que se conoce como proceso INCO y que es utilizado en muchas plantas alrededor del mundo, (http://www.somosbarrick.com/pueblo-viejo/2012/04/el-cianuro-en-la-mineria/).



3. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LOS PRODUCTOS CON MERCURIO AÑADIDO INDICADOS EN EL ANEXO A Y PRODUCTOS SUJETOS AL ARTÍCULO 4, PÁRRAFO 3 DEL CONVENIO DE MINAMATA

3.1 Baterías

En un estudio desarrollado por la Universidad de Costa Rica, (Aviram, 2007) sobre el uso de baterías en Costa Rica, se identifica tres tipos de baterías con contenido de mercurio que se comercializan en el país, estas son baterías de Zinc-Óxido de mercurio, Zinc-Aire y Níquel/hidruro metálico (NiMH).

3.1.1 Comercialización de baterías con mercurio añadido

De acuerdo con el Ministerio de Hacienda, en el 2015 se importaron 161.057,06 kg de baterías con Zinc-Óxido de mercurio, Zinc-Aire, y Níquel/Hidruro Metálico (NiMH), con un valor aduanero de $60.817. Dichas baterías se importaron de Panamá, China y EEUU, y en menor proporción de otros países como México y Alemania. Aunque el Ministerio de Hacienda reporta la importación de baterías con contenido de mercurio, las empresas importadores de baterías, indican que las baterías con contenido de mercurio ya no son vendidas en el mercado costarricense y en su lugar importan y distribuyen baterías de Níquel, Alcalinas y Litio. Sin embargo, ello no implica que las baterías no sean distribuidas en el mercado nacional, sino que no se logró identificar las empresas distribuidoras, ya que las baterías con mercurio si son importadas como se identificó en los datos del Ministerio de Hacienda.

Cuadro 7. Comercializadores de baterías en Costa Rica

Empresa	Ubicación	Producto	Contacto
SATEC S.A.	Guadalupe	Baterías Power Sonic, Panasonic, Sony, Saft, Tadiran Batteries, Energizer, Pet Safe, New Energy, GP Batteries, Maxell, Duracell, Ultra Last, Sanyo, Cyclon.	2233-8111
Baterías Duracell	Barrio Dent	Baterías Duracell	2283-9910
AMTEC de Costa Rica	Cartago	Baterías Maxell	2551-5095
Sorie de Centroamérica	La Uruca	Baterías Rayovac	2296-2117
Radio Shack Costa Rica	San José	Baterías RadioShack	4031-8281
Panasonic Centroamérica	Alajuela	Baterías Panasonic	2509-2400
Casio	San José	Pilas de botón	2255-3636

Fuente: Elaboración Propia con base en consulta a las empresas.

3.1.2 Disposición final de baterías con mercurio añadido

Las baterías con contenido de mercurio, al final de su vida útil, deben clasificarse como desechos peligrosos debido a su elevada toxicidad por contener materiales como mercurio, plomo y cadmio, además de otros elementos metálicos, ácidos y bases (Soto, 2005). En el Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos, Decreto Ejecutivo N°37788, vigente desde el 19 de enero del 2014, está la lista de los residuos peligrosos, dentro de los cuales, se mencionan las baterías con mercurio.

A partir de la lista de empresas autorizadas por el Ministerio de Salud Pública (MINSA) para la gestión de residuos sólidos, se identificaron compañías que brindan el servicio de reciclado y tratamiento de baterías con mercurio añadido, entre las que se encuentran la empresa Soluciones Integrales en Reciclaje S.A. (SOLIRSA S.A.), Servicios Ecológicos, Geep, Metalurgías Román y Sauvignon Sur. Estas empresas ofrecen soluciones de reciclaje de desechos de baterías para empresas del sector privado y público.

El costo de los tratamientos deberá ser cubierto por el generador del desecho. Por ejemplo, la empresa Servicios Ecológicos trata pilas cilíndricas o cuadradas de cualquier tamaño y tipo, ya sean estas desechables, recargables, alcalinas o regulares, así como pilas de botón, las cuales demandan un tratamiento en planta y tratamiento en destino final.

Para el tratamiento, las baterías son clasificadas de acuerdo con los requerimientos del procesador final; posteriormente, se procede a sellar con cinta de contactos y empacarlas de acuerdo con los requerimientos de transporte internacional. El material procesado se exporta a los Estados Unidos, donde empresas acreditadas se encargan de reciclar y disponer adecuadamente de esos desechos. El proceso final consiste en triturar las baterías y separar el material ya triturado en cada uno de sus componentes para su reciclado: metales ferrosos, no ferrosos y metales pesados.

Se consultó sobre el costo del tratamiento de las baterías a las empresas autorizadas para el tratamiento de residuos, y sus representantes indicaron que ellos reciben desechos de baterías de cualquier tipo, a ¢210 ($0,39) el kilogramo y lo venden a empresas procesadoras que compran estos desechos para reciclarlos. Algunas de estas empresas funcionan como intermediarias, ya que no le realiza ningún proceso a los desechos. Los precios para el tratamiento de este tipo de desechos oscilan en $0,60 por kilogramos de batería.

3.1.3 Sustitutos

La Comisión Europea plantea como sustitutos a las pilas con mercurio, las pilas de níquel-hidruro metálico, los iones de litio o las pilas de botón sin mercurio (MAGRAMA, 2015). Se consultó a las empresas indicadas en el cuadro 7 e indicaron que los sustitutos de las baterías con mercurio son baterías de Níquel-Metal, Níquel-Cadmio, Alcalinas y Litio. De acuerdo con el Ministerio de Hacienda, en el 2015 se importaron 41.546,3 kg de baterías sin mercurio y reportaron un monto de importación de $71.813,8.

Este tipo de baterías son distribuidas por una amplia gama de empresas en el país, por ejemplo, la empresa SATEC distribuye baterías alcalinas, Níquel-Cadmio, Níquel-Metal y Litio y la compañía Panasonic indicó que solo distribuyen baterías alcalinas. En igual medida, AMTEC comercializa baterías de Níquel-Metal y alcalinas y Sorie de Centroamérica solo distribuye baterías alcalinas y, Casio, baterías de Litio marca Sony para sus relojes. Según la consulta realizada a las empresas antes indicadas, el precio de venta de las baterías sin mercurio es de ¢500 ($0,9) a ¢3.000 ($5,5).

En el cuadro siguiente se indica el costo de importación (valor aduanero) del Ministerio de Hacienda en el 2015, de las baterías con y sin mercurio. El costo de las baterías sin mercurio es de $1,7kg, lo que equivale a 4,5 veces el costo de importación de las baterías con mercurio, el cual es de $0,4kg, con un costo incremental de $1,3 por kg. El valor de sustituir los 161.057,06 kg de baterías con mercurio que se importaron en el 2015 se estima en $278.391, que implica un incremento de $217.574.

3.2 Interruptores y relés

Los interruptores son dispositivos que abren o cierran un circuito eléctrico o una válvula de líquido o de gas. Pueden ser, por ejemplo, interruptores flotantes que se activan al cambiar el nivel de líquido, interruptores basculantes que funcionan por un cambio de posición y sensores de llama activados por un cambio de temperatura. Estos interruptores se encuentran en bombas, electrodomésticos, cocinas, hornos y gran variedad de maquinaria, mientras que los relés se usan para abrir y cerrar contactos eléctricos que controlan otro dispositivo del mismo circuito. Suelen usarse para apagar grandes corrientes eléctricas suministrando una pequeña cantidad de electricidad a un circuito de control. Se encuentran en circuitos de telecomunicación y en hornos industriales (Lennett y Gutiérrez, 2015). Varios tipos de interruptores eléctricos contienen mercurio, entre ellos están los interruptores de inclinación, los interruptores de flotador, los relés (relevadores) que controlan circuitos electrónicos y otros.

En la figura 5, se presenta la cadena de valor de interruptores y relés, la cual se desarrolla seguidamente.

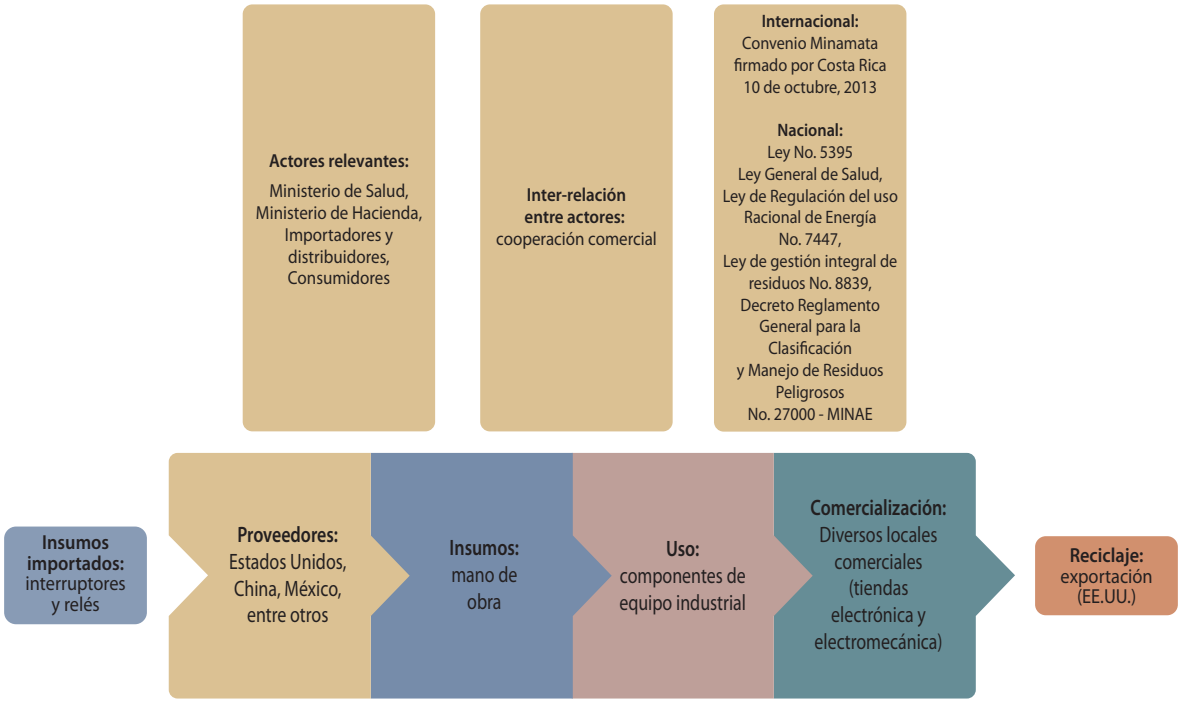


Figura 5. Cadena de valor de interruptores y relés

Fuente: elaboración propia.

3.2.1 Proveedores de interruptores y relés

Según la revisión de la base de datos del Ministerio de Hacienda sobre importaciones definitivas del 2015, no existen datos desagregados que permitan identificar la cantidad de interruptores y relés que ingresaron al país. Los datos existentes hacen referencia a aparatos para corte, seccionamiento, protección, derivación, empalme o conexión de circuitos eléctricos, donde se incluye interruptores y relés. Estos artículos se importan de una gran variedad de países, dentro de los que destacan Estados Unidos, China, México, República Dominicana, Alemania, España, Taiwán y Panamá, por volumen y valor de importaciones.

3.2.2 Comercialización de interruptores y relés

En el país existen empresas especializadas en la venta de componentes electrónicos y electromecánicos, incluidos los interruptores y relés; sin embargo, estas indican que no importan este tipo de componente con mercurio añadido debido a que prefieren usar otras tecnologías menos riesgosas (Steren Soluciones Electrónica, Partes Electrónicas).

3.2.3 Usuario final de interruptores y relés

Los interruptores y relés son normalmente adquiridos por personas y empresas que se dedica al ensamble y reparación de equipo industrial que incorpora componentes como los mencionados. No existen restricciones para que puedan ser comprados por el público en general.

3.2.4 Disposición final de interruptores y relés

No se tiene certeza del proceso que se sigue para todos los interruptores y relés con mercurio añadido que han ingresado el país formando parte de un equipo de mayor tamaño, o que han sido reemplazado al final de su vida útil, ya que queda a criterio de las personas y empresas que lo adquirieron qué tipo de tratamiento se les da. Sin embargo, en el país existen algunas empresas especializadas en reciclaje de desechos electrónicos que tratan interruptores y relés con mercurio añadido, y se realiza un tratamiento primario, y se envía a países como Estados Unidos para el tratamiento final (Valu Shred, 2016).

3.2.5 Sustitutos de interruptores y relés

Según el Centro Coordinador de Basilea y Centro Regional de Estocolmo para América Latina y el Caribe (BCCC, s.f.) existen diferentes opciones de sustitutos para para interruptores y relés con mercurio añadido como se indica en el cuadro siguiente:

Cuadro 8. Productos con mercurio añadido y sustitutos

Producto con mercurio añadido	Puede ser sustituido por
Interruptor de flotador con mercurio	Interruptores mecánicos, de láminas magnéticas secas, ópticos, de conductividad, con bola metálica, sónica o ultrasónica, de transmisor de presión, de aleación, térmicos, y los interruptores de flotador de capacitancia.
Interruptor de inclinación con mercurio	Interruptores de bola metálica, electrolíticos, mecánicos, de estado sólido, y de capacitancia interruptores basculantes; potenciómetros.
Interruptor de presión o temperatura con mercurio	Interruptores mecánicos o interruptores de estado sólido.
Relés de desplazamiento, de lámina húmeda y de contacto con mercurio	Interruptores electro-magnéticos, de láminas magnéticas secas y relés de estado sólido, rectificadores controlados de silicio

Fuente: Elaboración propia con información de **BCCC**, s.f.

Los interruptores sin mercurio se pueden encontrar en el país por precios que van desde los ¢250 (0,5) hasta los ¢123.000 ($227). Con respecto a los relés pequeños sin mercurio añadido, se pueden encontrar por precios que van desde los ¢695 ($1,3) como el relevador compacto de 1 polo, 2 tiros (SPDT) y bobina de 9 Vcc, hasta los ¢4.890 ($9), relevador de poder de 2 polos, 2 tiros (DPDT) y bobina de 12 Vcc, (Steren Soluciones Electrónica), mientras que los relés más grandes utilizados a nivel de procesos elec-

tromecánicos tienen precios más elevados que oscilan entre los ¢15.000 ($27,8) y ¢20.000 ($37), (Componentes electromecánicos LTDA).

El costo incremental del uso de interruptores y relés sin mercurio no se estima con respecto a los que contienen mercurio, debido a que no se logró identificar la importación, ni distribución de este tipo de equipos con mercurio en el mercado.

3.3 Lámparas fluorescentes compactas, lineales, de vapor de mercurio a alta presión (HPMV), fluorescentes de catado frío y fluorescentes de electrodo externo (CCFL y EEFL)

El listado de luminarias que contienen mercurio añadido es amplio y está compuesto principalmente de lámparas fluorescentes compactas, lámparas fluorescentes lineales, lámparas de vapor de mercurio a alta presión (HPMV), lámparas fluorescentes compactas (CFL), lámparas fluorescentes de catado frío (CCFL) y lámparas fluorescentes de electrodo externo (EEFL). Sin embargo, por limitaciones en la información existente para identificar la cadena de valor de cada una de ellas por separado, en este documento se trabajan de manera genérica como luminarias con mercurio añadido, o en la medida de lo posible se hará referencia a algún tipo de lámpara en específico. En general este tipo de luminarias fluorescentes se identifican como alternativas de iluminación eficiente en relación con las lámparas incandescentes (bombillos).

Según el dictamen emitido en 2010 por el Comité Científico de los Riesgos Sanitarios y Medioambientales (CCRSM) de la Comisión Europea ("Opinion on Mercury in Certain Energy-saving Light Bulbs"), en la actualidad, las bombillas tradicionales se están retirando del mercado, sustituyéndolas por otras de menor consumo energético, principalmente por lámparas fluorescentes compactas (CFL, siglas del inglés "compact fluorescent lamp") (Comisión Europea, 2011). Las lámparas fluorescentes compactas de bajo consumo requieren menos electricidad. Sin embargo, las lámparas y tubos fluorescentes contienen una pequeña cantidad de mercurio sellada en el tubo de vidrio, cercana a 5 miligramos de mercurio en lámparas y entre 5 y 10 miligramos en tubos. Comparativamente los termómetros clínicos contienen hasta 1200- miligramos de mercurio – equivalente al mercurio contenido en 240 lámparas fluorescentes (BCCC, s.f.).

La iluminación representa en promedio un 20% de los gastos en energía de los hogares. Se calcula que el gasto de energía para la iluminación de hogares se reduce en hasta un 75% en energía eléctrica cuando se cambian las lámparas tradicionales (incandescentes) por fluorescentes. Estas son más caras pero duran cerca de 10 veces más (BCCC, s.f.).

En la actualidad, es científica y técnicamente imposible fabricar lámparas fluorescentes compactas sin mercurio, pero las nuevas tecnologías pueden reducir el contenido de mercurio, y la cantidad permitida se irá reduciendo de manera gradual (Comisión Europea, 2011). Estos avances tecnológicos han permitido que el promedio del mercurio contenido en las lámparas fluorescentes sea al menos un 20 % menor que en el pasado. Algunos fabricantes han hecho reducciones mayores, reduciendo el contenido de mercurio entre 1.4 – 2.5 miligramos por lámpara (BCCC, s.f.).

En la figura siguiente se representa la cadena de valor, la cual se detalla seguidamente.

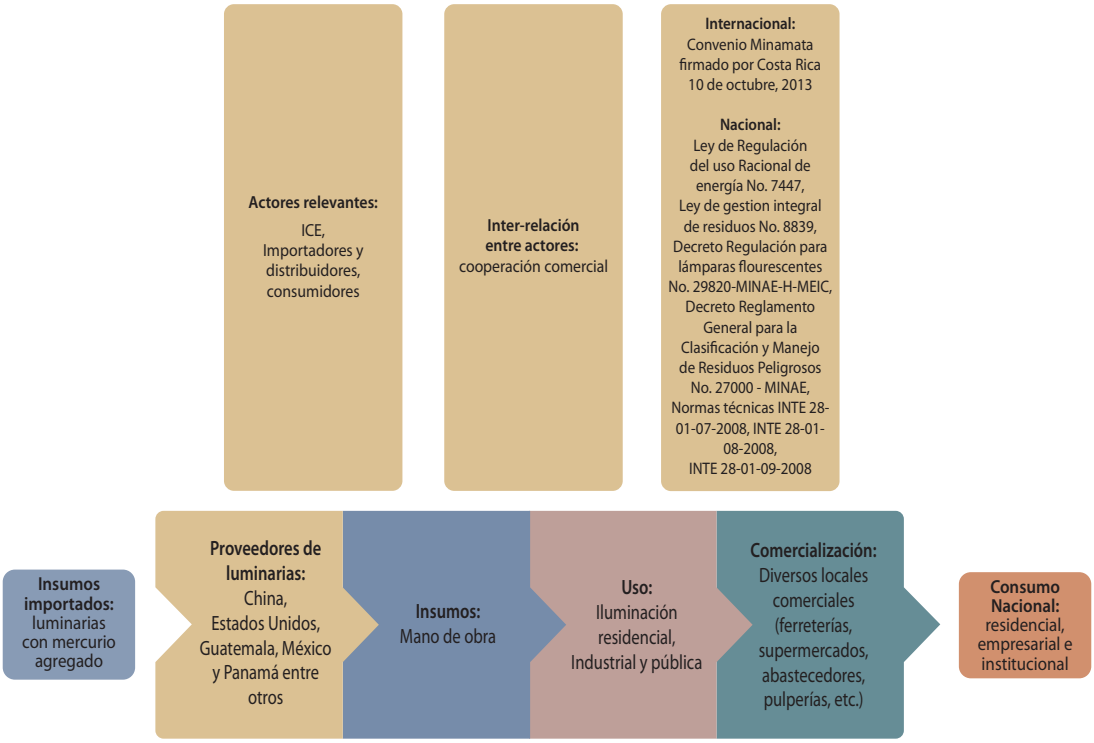


Figura 6. Cadenas de valor de luminaria con mercurio agregado

Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.3.1 Proveedores de lámparas con mercurio

Con respecto a la cadena de valor de las luminarias que poseen mercurio, según el Ministerio de Hacienda para el año 2015, las importaciones de lámparas fluorescentes proceden principalmente de países como China, Estados Unidos, Guatemala, México y Panamá, entre otros. Estas importaciones representaron 1.435.959 unidades con un valor aduanero de US$2.937.149,36, importadas por 150 empresas.

3.3.2 Comercialización de lámparas con mercurio

La comercialización y distribución de lámparas que contiene mercurio se da por medio de una amplia red de locales comerciales, que incluye desde las tradicionales ferreterías hasta abastecedores y pulperías. Es decir, a lo largo del país es posible adquirir luminarias con mercurio agregado sin ningún tipo de restricción legal para su adquisición.

3.3.3 Usuario final de lámparas con mercurio

Los usuarios finales de las lámparas que contiene mercurio son diversos e incluye el sector residencial, empresarial e institucional del país. No existen restricciones legales a la comercialización de este tipo de productos, por lo que cualquier persona está en derecho de adquirir lampas de este tipo.

Según el inventario de emisiones de mercurio y equipo médico en hospitales en Costa Rica para el 2008, el consumo anual a nivel nacional de lámparas fluorescentes compactas (CFL de un solo extremo) fue de 813.644, los tubos fluorescentes de doble extremo representaron 1.600.127 artículos, las fuentes de luz con mercurio fueron de 3.760.043 y otras fuentes de luces que contienen Hg fueron de 1.346.272 artículos vendidos al año (MINAET, 2012).

3.3.4 Disposición final de lámparas con mercurio

En relación con la disposición de las lámparas de bajo consumo que contienen mercurio se debe tener en consideración que el mercurio solo podría salirse del interior de las lámparas si se rompen accidentalmente o se desechan junto con los residuos domésticos. Si los consumidores llevan las lámparas a puntos de recolección, el mercurio que contienen se reciclará y no se emitirá al medio ambiente (Comisión Europea, 2011). En ese sentido, en Costa Rica existen empresas especializadas en la disposición final de este tipo de lámparas; estas empresas deben estar autorizadas por el Ministerio de Salud y contar con un certificado que respalde que el transporte de residuos especiales es adecuado de acuerdo al Convenio de Basilea.

Estas empresas dedicas al reciclaje de fluorescentes cuentan con vehículos apropiados para la labor. El desecho es procesado utilizando una máquina especial que tritura los fluorescentes al mismo tiempo que captura el 99.9% de los vapores de mercurio que son liberados. Está equipada con una serie de filtros los cuales capturan y neutralizan todos los vapores de mercurio liberados durante la trituración de las lámparas. El sistema se coloca sobre un estañón metálico de 55 galones donde es acumulado el material triturado, una vez lleno el estañón, se tapa y se sella adecuadamente, en espera de ser exportado al procesador final. El proceso final consiste en separar el material ya triturado en cada uno de sus componentes: vidrio, aluminio, metales ferrosos y polvo de fósforo, posteriormente los materiales son colocados nuevamente en el mercado como materias primas (Servicios Ecológicos, s.f.).

Con respecto a la disposición de bombillas de alumbrado público y fluorescentes existe un proceso de tratamiento mediante inertización del mercurio. Este se desarrolló por parte del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), adscrito a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Este proceso fue resultado de una solicitud realizada por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), la cual durante el 2014 inició un programa para mejorar la eficiencia en el consumo de energía del alumbrado público, remplazando las bombillas existentes por otras más eficientes en el consumo de energía, lo que llevó a una gran acumulación de desechos que no eran recibidos en rellenos sanitarios por los riesgos que representaban. El servicio que brinda el CIPA se ha extendido a otras instituciones como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y empresas privadas (Salas y Benavides, 2008).

3.3.5 Sustitutos de lámparas con contenido de mercurio

Tradicionalmente se han utilizado las lámparas incandescentes para la generación de luz artificial; sin embargo, estas han sido paulatinamente sustituidas por las fluorescentes (CFL), que resultan ser más caras pero más eficientes. Pese a ello, uno de los aspectos negativos de esa tecnología es la utilización de pequeñas cantidades de mercurio que pueden tener efectos sobre la salud y el ambiente. Como opción al uso de lámparas con mercurio se pueden citar algunas tecnologías más recientes como es el caso de las lámparas que utilizan diodos emisores de luz como fuente lumínica, conocidas como lámparas LED (del inglés *Light-Emitting Diode*).

En Costa Rica se han desarrollado campañas enfocadas a la sustitución de luminarias incandescentes por fluorescentes; por ejemplo, en 2008 el ICE destinó ¢250 millones ($462.962) para subvencionar una iniciativa de ese tipo y pese a ello, actualmente no existen campañas mediáticas enfocadas a la sustitución de esta tecnología por otras como la LED. Es importante destacar que la Estrategia Regional de Iluminación Eficiente procura estimular el uso de luminarias eficientes, lo que incluye las de tecnología LED, además que el VII Plan Nacional de Energía 2015-2030 menciona como uno de sus objetivos en el corto plazo (julio-2018) promover la adquisición de equipos eficientes mediante el establecimiento de sellos de eficiencia energética que incluyan a las lámparas LED (MINAE, 2015).

Las lámparas LED, además de la ventaja de no incorporar mercurio en su interior, duran 2,5 veces más que la tecnología de bajo consumo más extendida, la CFL y 25 veces más que las bombillas incandescentes tradicionales. La tecnología LED tienen otros beneficios como un rendimiento potencialmente superior a todas las

fuentes comunes de luz y bajos costos de mantenimiento, además aún no se ha identificado un riesgo toxicológico equivalente con respecto a las unidades fluorescentes de iluminación (GREENPEACE, 2008).

Según la Estrategia Regional de Iluminación Eficiente unos de los obstáculos que enfrenta Centroamérica para la migración a luminarias más eficientes son los altos costos de las lámparas fluorescentes y LED en comparación con las incandescentes. Esto se refleja en que los precios de mercado de las luminarias fluorescentes y LED, tal y como se observa en el cuadro siguiente, el precio de los LED en promedio es 3,75 veces mayor que el de los fluocerencentes:

Cuadro 9. Precio de venta de mercado de los bombillos incandescentes, CFL y fluorecentes y LED´s

Flujo luminoso (lúmenes)	Precio en colones por tipo de tecnología		
	Incandescentes	CFL y fluorescentes	LED's
1.600	¢ 400	¢ 2.000	¢ 12.000
1.100	¢ 360	¢ 1.800	¢ 6.000
800	¢ 300	¢ 1.500	¢ 4.000
450	¢ 268	¢ 1.500	¢ 3.500
Promedio	¢ 332	¢ 1.700	¢ 6.375

Fuente: elaboración propia con información de Construplaza y EPA.

Según el Censo de población del 2011, el número de viviendas era de 1.211.964, clasificadas por número de aposentos, desde uno hasta cinco o más. A partir de dicho número se estimó un total de luminarias de 10.690.301 para el sector hogares. El costo de las luminarias bajo el supuesto que solo se utilizan CFL y fluocerecentes para los hogares indicados es de $34,2 millones, en tanto que el costo de reemplazar luminarias CFL y Fluorecentes por LED es de $128,3 millones (véase cuadro 10). El costo de la sustitución de fluorecentes por LED se estima en $94,1 millones.

Cuadro 10. Costa Rica: Estimación del total del luminarias en viviendas y el costo de sustitución de CFL y fluorecentes con LED

Número aposentos	Número de viviendas	Número de luminarias por vivienda	Total luminarias	Costo con CFL y Fluorecentes (colones)	Costo con CFL y Fluorecentes (dólares)	Costo sustitución con LED´s (Colones)	Costo sustitución con LED´s (dólares)
1 Aposento	29.584	5	147.920	¢251.464.000	$473.567	¢942.990.000	$1.775.876
2 Aposentos	60.908	6	365.448	¢621.261.600	$1.169.984	¢2.329.731.000	$4.387.441
3 Aposentos	153.963	7	1.077.741	¢1.832.159.700	$3.450.395	¢6.870.598.875	$12.938.981
4 Aposentos	287.949	8	2.303.592	¢3.916.106.400	$7.374.965	¢14.685.399.000	$27.656.119
5 Aposentos o más	679.560	10	6.795.600	¢11.552.520.000	$21.756.158	¢43.321.950.000	$81.585.593
Total	**1.211.964**		**10.690.301**	**¢18.173.511.700**	**$34.225.069**	**¢68.150.668.875**	**$128.344.009**

Fuente: estimación propia con base en datos del cuadro 20 y datos de viviendas del censo de población del 2011.
Nota: el número de luminarias se estimó en función del número de aposentos de las viviendas, indicados en el Censo de población, 2011.

3.4 Cosméticos

3.4.1 Elementos generales

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su alerta epidemiológica de junio de 2012, el mercurio es un ingrediente común que se encuentra en jabones y cremas para aclarar la piel. También se encuentra en otros cosméticos, tales como máscara para ojos y productos de limpieza del maquillaje de ojos. Algunos de estos productos se pueden comercializar como "jabones antisépticos".

El mercurio se puede encontrar en dos formas en los productos cosméticos, inorgánico y orgánico. El mercurio inorgánico se utiliza en jabones y cremas para aclarar la piel, por ejemplo, el mercurio amoniacal, mientras que los compuestos orgánicos de mercurio (tiomersal [etil-mercurio] y sales de fenil mercurio) se utilizan como conservantes en las máscaras para los ojos y en los productos de limpieza de maquillaje de ojos (OMS, 2012).

Los productos cosméticos que contienen mercurio en algunas ocasiones lo indican en la etiqueta, donde debería indicar la cantidad contenida. Sin embargo, no siempre se indica. Las palabras que se deben buscar en las etiquetas para identificar la existencia de mercurio son mercurio, Hg, yoduro mercúrico, cloruro mercurioso, mercurio amoniacal, amidocloruro de mercurio, azogue, cinabrio (sulfuro de mercurio), *hydrargyri oxydum rubrum* (óxido de mercurio), yoduro de mercurio o "veneno". Otros indicadores de posible presencia de mercurio son los productos que tienen color gris o crema o aquellos que recomiendan evitar el contacto con la plata, el oro, la goma, el aluminio y las joyas (OMS, 2012).

3.4.2 Proveedores de cosméticos con mercurio agregado

En consulta realizada al Ministerio de Salud "se indicó que es prohibido el ingreso de mercurio en cosméticos a país. En el reglamento técnico centroamericano de 2008, sobre registro e inscripción sanitaria de productos cosméticos, se establece una lista de sustancias prohibidas entre las que se encuentra el mercurio", (Ileana Herrera, Comunicación personal, 6 de marzo, 2016).

Para poder ingresar un producto cosmético a Costa Rica, tienen que tener registro sanitario y para eso debe cumplir con el Reglamento Técnico Centroamericano. Por reglamento se les solicita por ejemplo, que la etiqueta tenga especificaciones microbiológicas de la contaminación que podría tener el producto, la formula química y algún principio activo. En el anexo numero dos del reglamento, sobre sustancias que están totalmente prohibidas en cosméticos se registra el mercurio, por lo que no hay rango para permitirlo, por lo tanto si algún producto lo declara en su fórmula se rechaza su ingreso al país, (Adrián Brenes, Comunicación personal, 6 de marzo, 2016).

Teniendo en consideración esta prohibición se parte del supuesto de que al país no ingresan de forma legal cosméticos que contengan mercurio añadido.

3.4.3 Sustitutos de cosméticos con mercurio agregado

Con respecto al análisis de costos se debe indicar que en Costa Rica, al ser prohibido el uso de mercurio en cosméticos, la industria ha tenido que evolucionar con la utilización de otros componentes, por lo que actualente no existen costos asociados a dicha sustitución.

3.5 Plaguicidas, biocidas y antisépticos de uso tópico

De acuerdo con el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET) de la Universidad Nacional (disponible en: *http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/*), se identifican tres tipos de agroquímicos con mercurio añadido, los cuales son: Cloruro de Mercurio, Acetato de Fenilmercurio y MEMC. Sin embargo, según el Ing. Esaú Miranda de la Unidad de Registro de Agroquímicos y Equipos

de Aplicación del Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), "los fertilizantes y otros agroquímicos con mercurio añadido se encuentran prohibidos en el país desde 1998 mediante el Decreto Ejecutivo N°27769 del MAG y MINSA de mayo de 1998. Por tanto, la presencia de algún agroquímico con mercurio añadido sería un caso en particular, ya que otros países de la región también han adoptado la medida de prohibir agroquímicos con contenido de mercurio, lo que ha impactado en la producción e importación de este tipo de compuestos y su utilización en la región", (Esaú Miranda, Comunicación personal, 14 abril, 2016).

3.5.1 Efecto de los agroquímicos con mercurio añadido sobre la salud

Según entrevista realizada a María Luisa Fournier Leiva del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), "se han realizado escasas investigaciones sobre el efecto del uso de plaguicidas con mercurio añadido y es un tema que no ha sido investigado por el IRET. Además, señaló que actualmente el IRET desarrolla un proyecto en conjunto con especialistas canadienses para determinar los contenidos de mercurio en las aguas de los ríos de Abangares. Se han tomado muestras de suelos, de los ríos e incluso de peces de la zona, sin embargo, aún se encuentran en la fase de muestreo y dichas muestras deberán ser posteriormente analizadas en laboratorio en Canadá, sin embargo, aún no se cuentan con los resultados de los estudios", (María Luisa Fournier Leiva, Comunicación personal, 14 de abril, 2016).

3.5.2 Comercialización de agroquímicos con mercurio añadido

Los agroquímicos con mercurio añadido no se comercializan en Costa Rica desde 1998, según indica el representante del Registro de Plaguicidas del Servicio Fitosanitario del Estado, se establece en el Decreto Ejecutivo N°27769 S-MAG y se desconoce del trasiego informal de dichos productos en el mercado costarricense", (Esaú Miranda, Comunicación personal, 14 abril, 2016).

3.5.3 Sustitutos de agroquímicos con mercurio añadido

Existen en el mercado una variedad de agroquímicos sin mercurio que son sustitutos de los que contienen mercurio; por ejemplo, el Costar es un insecticida biológico que se vende en presentación de gránulos dispersables formulado por CERTIS USA y se utiliza en una gran variedad de cultivos, así como el Clincher que es un herbicida que se aplica en el cultivo de arroz en cualquier estado de crecimiento, para el control de gramíneas, compatible con herbicidas preemergentes y es de rápida absorción.

En el cuadro 11 se presenta una lista de algunas de las empresas identificadas que comercializan agroquímicos importados o producidos en el país, entre las que están Abonos Superior, CAFESA, FORMUQUISA y LAQUINSA entre otros.

Cuadro 11. Comercializadores de agroquímicos en Costa Rica

Empresa	Ubicación	Producto	Contacto
Abonos Superior	Cartago	Agroquímicos y fertilizantes	2573-7041
Compañía Costarricense del Café (CAFESA)	La Uruca	Fertilizantes nitrogenados	2232-2255
TRISAN S.A.	La Uruca	Fitoprotectantes y bioestimulantes	2290-0050
FORMUQUISA	Rohrmoser	Agroquímicos y productos veterinarios	2231-1625 / 2638-8283

Empresa	Ubicación	Producto	Contacto
Sur (agro)	La Uruca	Abonos, pollos, vacas, imprégnate, agroquímicos, construcción, malla pecuaria, enmiendas en general y alimentos animales	2211-3700
Cerexagri Costa Rica, S.A.	Santa Ana		2203-6259
El Colono Agropecuario	Pococí		2799-6000
LAQUINSA	Tibás	Coadyuvantes, fungicidas, herbicidas, insecticidas.	2247-1000
Servicio Agrícola Cartaginés, S.A.	Cartago	Coadyuvantes, fungicidas, herbicidas, insecticidas, reguladores de crecimiento, fertilizantes foliares.	2279-6994

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por las empresas.

Dado que la importación de los agroquímos con mercurio fue prohibida en Costa Rica desde 1998 y se utiliza una amplia gama de productos sustitutos, no se requiere la estimación de los costos de sustitución asociados a este tipo de productos.

3.6 Aparatos de medición no electrónicos (médicos)

En Costa Rica, los hospitales de la CCSS aún utilizan un importante número de aparatos médicos que contienen mercurio, dentro de los más significativos están:

a. barómetros
b. higrómetros
c. manómetros
d. termómetros
e. esfigmomanómetros

En la figura 7 se resume la cadena de valor de aparatos médicos con mercurio añadido, la cual se desarrolla en las siguientes secciones.

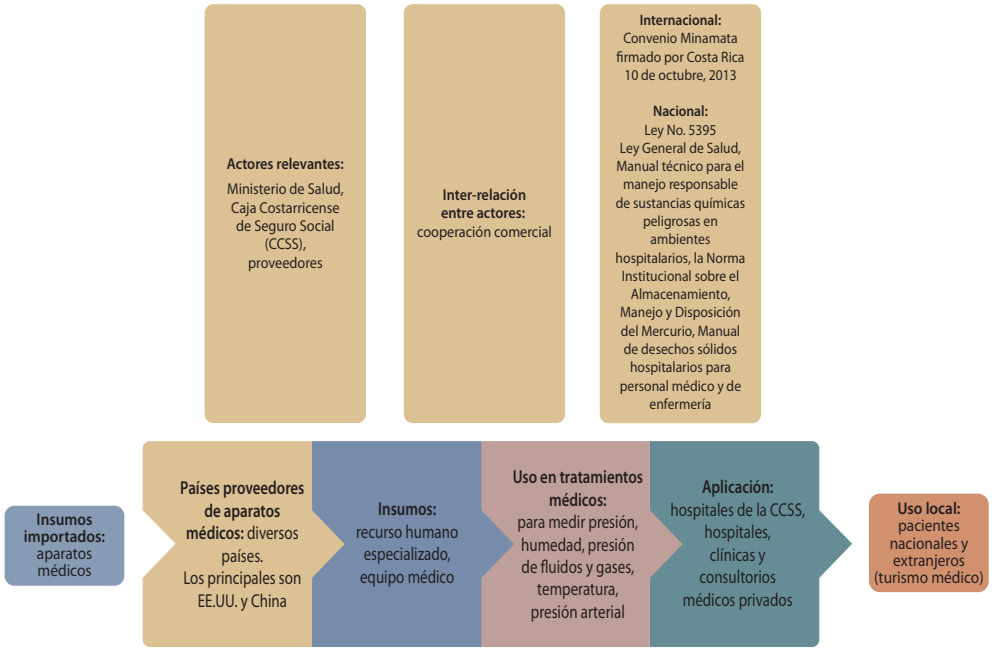


Figura 7: Cadena de valor de aparatos médicos con mercurio.

Fuente: elaboración propia.

3.6.1 Proveedores de aparatos de medición no electrónicos

La cadena de valor de aparatos médicos de medición no electrónicos inicia con la importación de estos, ya que en el país no se producen (MINAET, 2012). En el caso de los barómetros, higrómetros y manómetros se ha reducido la importación ya que la CCSS tomó la decisión de no adquirir más este tipo de equipo. En el 2015, según datos del Ministerio de Hacienda, se importaron barómetros con un valor aduanero de $2.737, de países como Estados Unidos, China y Taiwan. En este mismo año se importaron higrómetros con un valor aduanero de $874,2, manómetros con un valor de $485.044,01 y termómetros con un valor de $182.298,2, principalmente de Estados Unidos y, finalmente, los esfigmomanómetros con un costo de $370.670,26 traídos de Estados Unidos y China.

Estos instrumentos médicos son importados principalmente por empresas dedicadas a la distribución y venta de equipo médico. El principal usuario de este tipo de equipo es la CCSS; sin embargo, el sector de salud privada sigue siendo un consumidor importante, así como el público en general, tanto así que en el 2008 se estima que la cantidad de termómetros médicos de Hg vendidos fue de 468.369, lo que representa 468 kg de Hg, mientras que se vendieron 11.052 manómetros para medir presión arterial (MINAET, 2012). El Ministerio de Hacienda registra siete empresas que importaron barómetros, cinco que importaron higrómetros, 253 que importaron manómetros, más de 220 empresas importadoras de termómetros y 21 de esfignomanómetros durante el año 2014.

3.6.2 Usuario final de aparatos de medición no electrónicos

Según representante del Departamento de Gestión Ambiental de la CCSS, "esta entidad como principal usuario de los termómetros con mercurio tiene en existencias 4.096.700, los cuales se utilizarán hasta agotar existencias", (Roxana Sibaja, comunicación personal, 8 de marzo, 2016). Sin embargo, cada vez más hospitales compran directamente los termómetros infrarrojos o digitales y sustituyen los termómetros con mercurio, debido a que desde el 2007 se impulsó el programa de hospitales libres de mercurio.

La primera etapa consistió en un plan piloto, ejecutado entre 2007 y 2009, en la cual participaron los Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera (HNN) y el Hospital General Dr. Carlos Luis Valverde Vega (HCLVV). Posteriormente, otros hospitales asumieron el compromiso de ir reduciendo y eliminando el uso de aparatos médicos con Hg, entre ellos están el Hospital México, Hospital Dr. Escalante Pradilla y Hospital San Rafael de Alajuela. Otros centros médicos lo hacen de forma voluntaria (MINAET, 2012).

3.6.3 Disposición final de aparatos de medición no electrónicos

Con respecto a la manipulación y disposición de aparatos médicos que utilizan mercurio, la CCSS ha desarrollado un manual técnico para la utilización responsable de sustancias químicas peligrosas en ambientes hospitalarios, la "Norma Institucional sobre el Almacenamiento, Manejo y Disposición del Mercurio en Establecimientos de Salud de la Caja Costarricense del Seguro Social" y el "Manual de desechos sólidos hospitalarios para personal médico y de enfermería". El primero indica la segregación recomendada para residuos de metales pesados, en tanto que el segundo y el tercero indican formas adecuadas de contener un derrame de mercurio.

A pesar de la existencia de esos instrumentos, las opciones de disposición final para este tipo de instrumentos no están claramente definidas en Costa Rica y no se tiene una política nacional que indique un almacenamiento adecuado a largo plazo o las opciones de reciclaje. Las alternativas disponibles incluyen la reacción de mercurio con azufre, para transformarlo de su forma metálica a una inorgánica, y disponerlo en rellenos sanitarios (Salton y Fernández, 2009).

3.6.4 Sustitutos de aparatos de medición no electrónicos

En relación con los productos sustitutos, según la OMS (2005) existen estudios que indican que los costos de producción de equipo alternativo sin mercurio son muy similares a los de equipos convencionales. Los resultados de la investigación parecen indicar que hay muchas opciones sin mercurio que pueden abarcar la amplia gama de funciones que requieren los productos de consumo. En el ámbito salud, cabe mencionar los dispositivos para la determinación de la presión sanguínea, los dispositivos gastrointestinales, los termómetros y los barómetros, y en otros estudios se incluye la utilización de fijadores de mercurio en los laboratorios. Entre las posibilidades de sustitutos se encuentran:

Cuadro 12. Sustitutos de productos médicos con contenido de mercurio

Componente o producto con mercurio	Componente o producto alternativo sin mercurio
Barómetro	Aneroide, tubos en forma de U con un líquido, digital, eco-Celli silicio líquido-gas
Higrómetros	Higrómetros sin mercurio
Manómetros	Tubos en forma de U con un líquido de color, digital
Termómetros	Alternativas digitales
Esfigmomanómetros	Aneroides o alternativas digitales
Fuente: Elaboración propia.	

Los costos indirectos de mitigar los efectos de derrames de mercurio en instalaciones no son cuantificados ni tomados en cuenta cuando se toman las decisiones de compras. Un ejemplo de estos costos ocultos se muestra en el siguiente cuadro, cuando se comparan los costos de sustituir termómetros mercuriales por digitales.

Cuadro 13. Comparación de costos entre termómetros digitales y mercuriales

Costos	Termómetros de mercurio	Termómetros digitales
Directo: compra unitaria 40 termómetros	$1 $40	$6 $240
Número de fallos primer mes (roturas, pérdidas, fallas funcionamiento)	37 unidades	10 unidades
Costos de reposición	$37	$60
Costos de limpieza derrames por cada termómetros → Materiales → Personal	$0,5 ($18,5 total) $10 ($370 total)	- -
Costos mantenimiento • Baterías	-	$0,3 ($12 total)
Disposición final	$1,20 ($44,4 total)	01
Costo Total en un mes	$510	$303
Fuente: Salto y Fernández, 2009.		

Los precios de algunos aparatos médicos son:

Cuadro 14. Precios de equipo médico

Producto	Precio del Equipo con mercurio	Precio del Equipo sin mercurio
Termómetro 150°	¢5.030	¢4.725
Termómetro digital		¢39.790 – ¢74.200
Termómetro infrarrojo (-50 – 380º)		¢31.585
Higrómetro	¢7.800 - ¢20.000	¢29.835
Esfigmomanómetro	¢23.840	¢20.768
Manómetro	No se venden manómetros con mercurio	¢7.800
Barómetro	ND	ND
Fuente: Elaboración propia con información de Diprolab, Farmacias Fischel, Alfa Medicas y SETEC.		

Además de los termómetros de 150º sin contenido de mercurio que se venden libremente en farmacias en todo el país a un precio que ronda los ¢4.725 ($8,8), se comercializan los termómetros digitales e infrarrojos que son principalmente utilizados en clínicas y hospitales. Los digitales se cotizan en el mercado de ¢39.790 ($73,7) – ¢74.200 ($137) y los infrarrojos a ¢31.585 ($58,5).

3.7 Amalgamas dentales

La amalgama dental es un material utilizado para la restauración de piezas dentales en seres humanos. Está compuesto por una mezcla de metales tales como mercurio, plata, cobre y estaño. Estos metales se unen químicamente para formar una sustancia sólida y estable. El mercurio es el elemento encargado de unir a todos los demás y representa aproximadamente el 50% de la aleación (Milgram, 2011).

Las amalgamas dentales son el método de restauración de piezas dentales más utilizado a nivel mundial desde principios del siglo XIX. Antes de colocarla, la amalgama tiene la consistencia de una pasta y se introduce presionando fuertemente en la cavidad previamente preparada, para conseguir un empaste lo más resistente posible. Durante este proceso, el material sobrante sube a la superficie y es retirado por el dentista. La amalgama se solidifica rápidamente y se va endureciendo poco a poco en las horas siguientes, dando lugar a un empaste sólido que puede durar muchos años (Comisión Europea, 2008).

Según el informe "Seguridad de las amalgamas dentales y los materiales alternativos de obturación dental para pacientes y usuarios" del Comité Científico de los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados de la Comisión Europea, las cantidades de mercurio que liberan las amalgamas dentales son inferiores a los límites de exposición permitidos en el trabajo, por lo que no es usual que se registren casos de enfermedades provocadas por inhalar concentraciones muy altas de mercurio, tales como bronquitis, neumonía o afecciones al sistema nervioso central y riñones. Se sabe que los empastes de amalgama pueden causar ocasionalmente efectos locales en la boca, como reacciones alérgicas en las encías y en la piel del interior de la boca, pero esto ocurre solo en contadas ocasiones y normalmente es fácil de tratar (Comisión Europea, 2008). En todo caso, es recomendable que el personal médico que labora con materiales como las amalgamas se realicen exámenes de sangre anuales para determinar los niveles de mercurio, así como las medidas de protección usuales, tales como el uso de guantes, mascarilla y evitar que toque la piel del paciente, (Dr. Aldo Girse Broceta, comunicación personal, 19 de febrero de 2016).

En la figura 8 se presenta el resumen de la cadena de valor de las amalgamas dentales, cuyos componentes se detallan seguidamente.

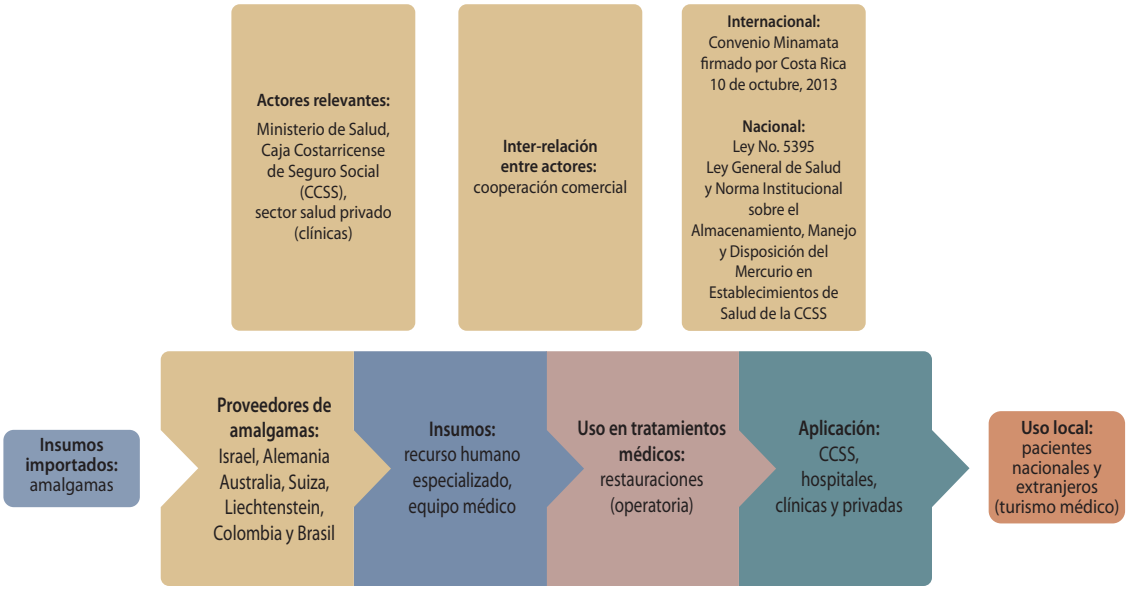


Figura 8. Cadena de valor amalgamas dentales

Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.7.1 Proveedores de amalgamas

Con respecto a la cadena de valor de las aleaciones de amalgamas en diversos tipos comerciales, según el Ministerio de Hacienda, para el 2014, correspondieron a importaciones definitivas y proceden en su totalidad de países como Israel, Alemania, Australia, Suiza, Liechtenstein, Colombia y Brasil. Estas representaron 1.346 unidades (c/u). El principal país de donde se importan las amalgamas es Israel con 1.000 de las 1.346 que se importan y un peso neto de 1200Kg, el detalle puede verse en el anexo 5.

3.7.2 Comercialización de amalgamas

Las amalgamas son importadas al país por diversas casas comerciales y depósitos dentales que posteriormente las comercializan a hospitales y clínicas privadas a lo largo del territorio nacional. Entre los principales proveedores se encuentran las empresas 3M de Costa Rica, Depósito Dental Izquierdo y Prestige Dental.

3.7.3 Usuario final de amalgamas

Las clínicas utilizan las amalgamas para tratamientos aplicados únicamente en sus instalaciones, por tanto, estas son comercializadas principalmente a profesionales en el área, entre los que existen 5.138 registros ante el Colegio de Cirujanos Dentistas de Costa Rica.

3.7.4 Disposición final de amalgamas

Con respecto a la disposición final de residuos, el Decreto Ejecutivo No 37788 - A: Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos, establece como métodos permitidos, la exportación de los residuos peligrosos bajo los lineamientos del Convenio Basilea sobre Control Fronterizo de Desechos Peligrosos y su Eliminación, para lo que los residuos deben ser adecuadamente acondicionados; así como la disposición en rellenos sanitarios de seguridad o en celdas de seguridad dentro de rellenos sanitarios. Sin embargo, no se hace referencia directa a la disposición de residuos de amalgamas ni al procedimiento que se debería seguir.

Por su parte las "Normas de Costa Rica para la acreditación de establecimientos odontológicos" solo indica que los establecimientos que se dedican a la atención odontológica deben contar con un protocolo que explique el manejo y destino final de sus desechos, pero no da especificaciones concretas en relación de los desechos de mercurio.

Según Roxana Sibaja de la CCSS "se generan pocos residuos y el inventario no se ha incrementado. Tanto los residuos como el material nuevo son almacenados en cada centro de salud. Los mismos se desechan en un recipiente, la CCSS cuenta con los protocolos establecidos para dicho proceso", (Roxana Sibaja, Comunicación personal, 8 de marzo de 2016).

3.7.5 Sustitutos de amalgamas

Como alternativa de sustitutos para amalgamas es cada vez más común que se utilicen empastes con materiales alternativos del color de los dientes, tales como los composites, los cementos y los selladores, que varían en composición y propiedades. Los composites, por ejemplo, contienen muchos componentes, entre ellos una matriz de resina y un relleno de partículas de cerámica. Los composites se aplican a la cavidad en forma de pasta y se endurecen normalmente utilizando luz azul visible (Comisión Europea, 2008).

Una breve comparación entre las amalgamas y las resinas refleja que dentro de la ventajas que tienen las primeras se destaca que tienen mayor duración y resistencia para la masticación, por lo que es muy útil para reparaciones en molares. Las amalgamas son más baratas que las resinas, debido a que su composición está basada en metales más comunes y accesibles que los compuestos de las resinas. Además, las resinas vienen listas para ser utilizadas por el odontólogo mientras que las amalgamas deben ser preparadas. La amalgamas pueden presentar mayor nivel de microfiltraciones, ya que en ocasiones no se adhiere bien a la pieza dental y pueden producir choques galvánicos. Por su parte, las resinas son más biocompatibles (se adaptan y asimilan mejor a los dientes por no ser un metal), son más fáciles de moldear y manipular a la forma requerida. Se pueden utilizar en cualquier pieza dental y son más estéticas. Sin embargo, requiere más cuidados ya que se se puede fracturar o se pueden teñir con colorantes presentes en los alimentos y se deben cambiar cada siete años, aproximadamente, (Comunicación personal, Dr. Aldo Girse Broceta 19 de febrero de 2016; Dr. Oscar Chaverri, 25 de enero de 2016).

En el caso de la CCSS "se sigue utilizando las amalgamas como el principal producto de reconstrucción dental por ser un material más barato que los sustitutos, pero que cumplen con la función requerida", (Comunicación personal Roxana Sibaja, 8 de marzo de 2016). "En el sector privado cada vez es más común la utilización de resinas por encima de las amalgamas", (Dr. Olman Montero, comunicación personal, 28 de marzo de 2016).

Los precios de venta de las amalgamas en los depósitos dentales varía entre los ¢515 hasta ¢957 colones, dependiendo de la marca y el porcentaje de contenido de plata. Por su parte, las resinas se venden en precios que van desde los 10.500 colones hasta los 35.000 colones dependiendo de las marcas y el alcance del producto (cantidad de tonos posibles).

Cuadro 15. Rango de precios de amalgamas y resinas en depósitos dentales

Producto	Rango de precios
Amalgamas	$515 - $957
Resinas	$10.500 - $35.000

Fuente: Consulta a depósitos dentales: 3M de Costa Rica, Depósito Dental Izquierdo y Prestige Dental, 2016.

El costo de las resinas es de 20 a 36 veces mayor que el precio de las amalgamas, lo que implica un costo incremental de ¢9.985 ($19) a ¢34.043 ($64) dependiendo de la calidad de los productos. El costo se constituye en la principal limitante para el reemplazo de las amalgamas por resinas en la CCSS, quien no planea realizar dicho reemplazo en un corto plazo, no obstante, esta transición ya se ha realizado en el sector privado, según se concluyó de las entrevistas realizadas en el desarrollo del estudio.



4. CONCLUSIONES

- Los indicadores financieros del análisis Costo Beneficio Privado (CB) indican que la actividad de minería artesanal es poco rentable. Aunque el Valor Actual Neto (VAN) privado acumulado muestra un valor aceptable ($41,7 millones), los indicadores TIR y la relación B/C arrojan valores inferiores a los recomendados para que la actividad sea rentable.
- Los resultados del análisis Costo Beneficio Social, el cual incluye la valoración económica del efecto del uso del mercurio sobre la salud producto de la minería artesanal, indicó que la actividad desde el punto de vista social continua siendo poco rentable, mostrando indicadores similares al Costo Beneficio Privado (VAN: $32.287.680; TIR:4,5%; B/C:0,39), por tanto los beneficios recibidos no compensan los impactos sobre la salud.
- A partir del resultado del análisis Costo Beneficio Privado y Social, se puede determinar que la actividad minera artesanal es poco viable y se requiere por tanto la introducción de mejores prácticas que permitan incrementar los niveles rentabilidad para los mineros y una reducción en el efecto que la misma tiene sobre la salud de los productores, reduciendo el impacto negativo de la actividad.
- Las dos opciones que podrían sustituir al mercurio en la extracción de oro, son el uso de la gravimetría y el cianuro. En el caso de la gravimetría es una tecnología que ha sido utilizada ampliamente a nivel mundial en la minería artesanal y cuya inversión inicial en equipo, considerando el modelo recomendado por la DGM es de $9.450, con un nivel de recuperación promedio del 50%, el cual es mayor a la recuperación con mercurio que oscila el 40%. Por otra parte, el uso del cianuro, aunque podría tener porcentajes de recuperación del 90% o incluso mayores, se requiere una alta inversión en una planta tecnificada que permita el procedimiento de manera segura y eficiente. Los costos de extracción de oro con cianuro se estiman de $650 a $750 por cada onza de oro.
- El costo de la sustitución de las baterías con contenido de mercurio que fueron importadas en el 2015 por baterías sin mercurio añadido, fue de $278.391, lo que implicó un aumento de $217.574. El costo de importación de las baterías sin mercurio fue de $1,7/kg que equivale a 4,5 veces el costo de importación de las baterías con mercurio, el cual es de $0,4/kg, con un costo incremental de $1,3 por kg.
- Costa Rica importa componentes como interruptores y relés, pero no existen datos desagregados por parte del Ministerio de Hacienda que permitan cuantificar exactamente la cantidad y tipo de componente (con o sin mercurio). Según se visualiza en las entrevistas realizadas, las empresas distribuidoras han ejecutado acciones para eliminar el uso de interruptores y relés con mercurio añadido y utilizar componentes sustitutos. Pese a ello, empresas que se encargan del reciclaje de este tipo de componentes indican que los mismos aún continúan siendo reciclados, por tanto, los mismos continúan siendo importados y comercializados en el país como parte de equipos que utilizan este tipo de piezas.
- En relación a luminarias que utilizan mercurio (fluorescentes) se debe indicar que es la tecnología más extendida, ya que el país ha migrado de las lámparas incandescentes a estas que resultan ser energéticamente más eficientes. A pesar de ello, en la actualidad es científicamente imposible fabricar lámparas fluorescentes compactas sin mercurio lo que representa un reto para el cumpli-

mento de los objetivos de erradicar o minimizar la utilización de mercurio. Es importante destacar que las nuevas tecnologías pueden reducir el contenido de mercurio a cantidades mínimas y técnicamente aceptables.

- Las tecnologías lumínicas energéticamente eficientes y que no utilicen mercurio, como es caso de la técnica LED, son el sustituto de las luminarias que utilizan mercurio (CFL y fluorecentes). El costo de reemplazar las luminarias CFL y fluorecentes con LED es de $128,3 millones, que implica un incremento de $94,1 millones. Con respecto al ahorro de energía las luminarias LED son las más eficientes, ya que consumen aproximadamente 80% menos que las incandecentes y 70% menos que las CFL.
- El Ministerio de Salud indica que en la actualidad es prohibido importar productos cosméticos con mercurio agregado, desde la aplicación del "Reglamento técnico centroamericano sobre productos cosméticos" del 2008, lo que hace suponer que al país no ingresan este tipo de productos, al menos de forma legal.
- Los plaguicidas, biocidas y antisépticos de uso tópico se encuentran prohibidos en el país desde el 1998 mediante el Decreto Ejecutivo N°27769 del MAG y MS de 1998, por tanto, dichos productos ya no están siendo comercializados en el país y en su lugar se comercializa una amplia gama de productos.
- La CCSS carece de inventarios para todo el sistema que señalen la cantidad de instrumentos médicos con mercurio en funcionamiento, sólo en el caso de los termómetros se estima un inventario de 4 mil. Según las cotizaciones realizadas para comparar precios de equipo médico con mercurio y sin mercurio, estos son muy similares. En el caso del termómetros de 150° resulta ser más costoso el que contiene mercurio en ¢305 ($0,6). Los termómetros infrarrojos y digitales para uso en hospitales son mucho más costosos que los de 150º de venta en farmacias. Los esfigmomanómetros con mercurio tienen un costo de ¢23.840, similar al de estos equipos sin mercurio (¢20.768), en tanto que los higrómetros sin mercurio son ¢9.935 ($18,7) más baratos que los equipos de este tipo con mercurio.
- El costo de las resinas es de 20 a 36 veces mayor que el precio de las amalgamas, lo que implica un costo incremental de ¢9.985 ($19) a ¢34.043 ($64) dependiendo de la calidad de los productos. El costo se constituye en la principal limitante para el reemplazo de las amalgamas por resinas en la CCSS, quien no planea realizar dicho reemplazo en un corto o mediano plazo; no obstante, esta transición ya ha tenido lugar en el sector privado, según se concluyó de las entrevistas realizadas en el desarrollo del estudio.



5. RECOMENDACIONES

- Además del apoyo que el MINAE está brindando a los oreros de Abangares en la sustitución del uso del mercurio para la extracción de oro por gravimetría, se requiere el establecimiento de alianzas y la coordinación de iniciativas entre los entes competentes, universidades y ONGs que permitan el desarrollo de la cadena de valor de la orfebrería, así como la identificación y desarrollo de otras alternativas productivas con un mayor nivel de rentabilidad que incrementen los ingresos de las familias y la dependencia de la minería. Ello implica la educación formal e informal de las personas.
- El establecimiento de acciones de coordinación entre MINAE y PROCOMER con el fin de analizar las estadísticas de exportación de oro y el origen de estas, dado que la actividad minera en Costa Rica es principalmente artesanal y las cantidades exportadas se han incrementado.
- No fue posible comprobar el impacto sobre el ambiente producto del uso del mercurio a través de los estudios realizados por la UCR y el MINAE; por ende, se recomienda la preparación e implementación de un plan de monitoreo de las colas, del agua y sedimentos en los ríos de influencia que permita determinar la prevalencia del Mercurio en el tiempo y las acciones de mitigación correspondientes.
- En relación al efecto del mercurio sobre la salud, aunque la DGM logró identificar la presencia de mercurio en sangre y la literatura científica señala las enfermedades que podrían estar asociadas a la exposición del mercurio, para poder determinar la relación de causalidad entre posibles enfermedades que se estén presentando en los mineros de Abangares y el mercurio, se requiere desarrollar un estudio epidemiológico, para lo cual se recomienda el establecimiento de un convenio con MS y la CCSS para el desarrollo de dicho estudio y poder determinar medidas que permitan reducir el efecto sobre la salud de los habitantes de Abangares.
- Se carece de información certera de la cantidad de equipos médicos con mercurio que aún se encuentran en uso o en inventario, con la excepción de los termómetros, por lo que se recomienda coordinar con la CCSS la preparación de un inventario en todos los hospitales de la CCSS, que permita determinar las existencias y los tiempos para el reemplazo de los diferentes equipos que aún se utilizan o están en inventarios.
- Se carece de información detallada sobre la importación de fluorescentes, baterías, relés y cosméticos con mercurio añadido, dado que la información de importación es general y no permite determinar el tipo de artículos, por tanto, se recomienda el establecimiento de un convenio con el Ministerio de Hacienda y el Ministerio de Salud cuando corresponda, que permita verificar la descripción del tipo de artículos que se importan y los requerimientos para su importación, para que el MINAE y el MSP puedan definir las medidas de política y acciones para el cumplimiento de la normativa nacional e internacional.



6. REFERENCIAS

ADA. (2007). American Dental Assosiation. Recuparado el 28 febrero de 2016 de *http://www.ada.org/sections/publicResources/pdfs/topics_amalgamwaste.pdf*

Aviram, S. (2007). Uso de baterías en Costa Rica. Facultad de Ingeniería eléctrica de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

BCCC. (s.f.). Acerca de las lámparas fluorescentes. Recuperado de *http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/es/mercurio/proyecto/preguntas-frecuentes/al/*

BCCC. (s.f.). *Alternativas de los productos con mercurio.*

CNPML. (2014). *Estrategia Regional de Iluminación Eficiente en Centroamérica.* Proyecto Integración y Desarrollo Centroamérica. San Salvador.

Comisión Europea. (2008). Materiales de obturación dental: Amalgamas y materiales alternativos. Recuperado de *http://ec.europa.eu/health/opinions/es/amalgamas-dentales/*

Comisión Europea. (2011). El mercurio en las bombillas de bajo consumo. Recuperado de *http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/mercury-in-cfl/es/mercurio-lamparas-bajo-consumo/index.htm*

Cordy, Paul (2015). La Minería artesanal en Abangares, Costa Rica: Peores prácticas, producción, contaminación y soluciones.

Erdal, S. (2012). Las amalgamas dentales con mercurio y las alternativas basadas en resinas: Una evaluación comparativa de los riesgos para la salud. Salud sin Daño, Buenos Aires, Argetina.

Fernández, A. (s.f). Proyecto "Asesoría Técnica para la Ejecución de un Inventario y la Elaboración de un Plan para el Manejo Ambientalmente Seguro de Residuos con Mercurio en los Servicios de Salud de Costa Rica".

Gómez Mario. (2013a). Memorandum DGM-RCH-48-2013: Informe resultados y recomendaciones uso y valoraciones de concenradores de oro Nicaragua.

Gómez Mario (2013b). Memorandum DGM-RCH-54-2013: Adendum al Informe resultados y recomendaciones uso y valoraciones de concenradores de oro Nicaragua.

Greenpeace. (2008). Iluminación Eficiente: primer paso hacia una [r]evolución energética.

Greenpeace. (2009). El mercurio y los focos ahorradores. Recuperado de *http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2009/3/mercurio.pdf*

Herranz, C., Ollé, J., y Jáuregui, F. (2011). La iluminación con led y el problema de la contaminación lumínica. Astronomía. II Época. Nº 144. *http://www.somosbarrick.com/pueblo-viejo/2012/04/el-cianuro-en-la-mineria/*

Imprenta Nacional. (2015). Diario oficial La Gaceta No. 82. San José, CR.

Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. (2016). Manual de Plaguicidas de Centroamérica. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Recuperado en 2016 de: *http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu*

IPEN. (2007). Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG.

Kim et al (2016). In journal of Hazardous materials. Pag. 376-385.

La Gaceta. (2013). Reglamento General para la Clasificación y el Manejo de Residuos Sólidos: Jueves 18 de Julio de 2013. La Gaceta. San José, Costa Rica.

Lennett, D. y Gutierrez, R. (2015). Convenio de Minamata sobre el mercurio Manual de rati cación y aplicación. Natural Resources Defense Council, BAN Toxics!.

Madrigal, J. (2013). Separación y reciclaje de baterías en el relleno industrial de Blumenau, Brasil. Comparación con la situación de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Milgram, M. (2011). Manejo adecuado de los residuos de la amalgama. Seminario de Graduación. Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología (ULACIT).

MINAE. (2015). VII Plan Nacional de Energía 2015-2030. San José, C.R.: PNUD, 2015.

MINAET. (2012). Inventario de emisiones de mercurio y equipo médico en hospitales en Costa Rica.

MINAET/CCSS. (2009). Reducción del uso del Mercurio en el Hospital Nacional de Niños "Dr. Carlos Sáenz Herrera" y en el Hospital Dr. Carlos Luis Valverde Vega, Costa Rica.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). El Gobierno modifica el Decreto Real sobre pilas y acumuladores para restringir la utilización de sustancias peligrosas y contaminantes. MAGRAMA. Madrid, España.

Ministerio de Salud. (2007). Normas de Costa Rica para la Acreditación de Establecimientos Odontológicos.

OMS (2007). El Mercurio en el Sector de la Salud. Documento de política general.

OMS (2013). El mercurio y la salud. Nota descriptiva No.361. *http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/*

Park Jung-Duck & wel Zheng (2012). 'Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury' en Journal of preventive medicine & public health. Pag. 344-352.

PNUMA. (2007). Los convenios sobre productos químicos y desechos peligrosos.

Revista Summa. (2013). Panasonic recicla 500kg de pilas electrónicas al mes en Costa Rica. Recuperado en 2016 de: *http://www.revistasumma.com/39287/*

Ruiz Sirzabel (2012). Diagnóstico de la Minería Artesanal aurífera en el cantón de Abangares, Costa Rica. Dirección de Geología y Minas. MINAE.

Salas, J., y Benavides, W. (2008). Protocolización, rediseño y evaluación del proceso de inertización del mercurio de luminarias. Proyecto para optar por el grado de maestría en sistemas modernos de manufactura. ITCR.

Sandoval-Herrera, Vargas-Soto, Espinoza, Clarke, Fisk and Wehrtmann (2015). Mercury levels in muscle tissue of four common elasmobranch species from the Pacific coast of Costa Rica, Central America. In Regional Studies in Marine Science. Elsevier.

Servicio Geológico Checo. (2010). Estudio Geológico Miramar, Chapernal, Las Juntas. CGS-DGM. Praga, República Checa, San José, Costa Rica.

Servicios Ecológicos M.B.B. S.A. Reciclaje de Fluorescentes. Recuperado de *http://www.reciclajecr.com/reciclaje-fluorescentes-costarica.html*

Servicios Ecológicos. (2016). Reciclaje de pilas. Recuperado en 2016 de: *http://www.reciclajecr.com/reciclaje-pilas-baterias-costarica.html*

Soto, S. (2005). Situación del Manejo de los Desechos Sólidos en Costa Rica. Undécimo Informe sobre el Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica.

UNEP. 2006. Guide for Reducing Major Uses and Releases of Mercury. Disponible en: *http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/Hg_Sector%20Guide%20July%202006.pdf*

UNEP. 2008. El mercurio en productos y desechos. Disponible en: *http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/AwarenessPack/Spanish/UNEP_Mod1_Spanish_Web.pdf*

Lista de personas entrevistadas

Dr. Sergio Castro Mora, estomatólogo Universidad Latina de Costa Rica. Entrevistado el 20 de febrero de 2016.

Dr. Aldo Girse Broceta Argilagos, estomatólogo Universidad de Ciencias Médicas de Camagüey. Entrevistado el 19 de febrero de 2016.

Dra. Ligia Casto, odontóloga. Entrevistada el 25 de enero, 2016.

Dr. Oscar Chaverri, dontólogo. Entrevistado el 25 de enero, 2016.

Dr. Ricardo Díaz Cajina. MINSA-Abangares. 4 de marzo, 2016.

Dr. Eddy Apuy Muñoz, EBAIS-Abangares CCSS, 4 de marzo 2016.

Diego Matarrita, gerente financiero COONAPROSAL R.L., 4 de marzo, 2016.

Dr. Olman Montero, director académico, Colegio de Cirujanos Dentistas de Costa Rica Entrevistado el 28 de marzo, 2016.

Dra. Raquel Ulloa, fiscal auxiliar, Colegio de Cirujanos Dentistas de Costa Rica. Entrevistado el 28 de marzo, 2016.

Dra. Melissa Masís, médica neumóloga e internista del Hospital Calderón Guardia y Hospital Hotel Clínica Católica. Entrevistada el 14 de abril de 2016.

Dr. José Antonio Castro, médico epidemiólogo del Área de Farmacoeconomía de la Caja Costarricense del Seguro Social. Entrevistado el 15 de abril de 2016.

Empresa Valu Shred. Reciclaje de productos electrónicos y destrucción de multimedia/software. Entrevista realizada el 18 de abril de 2016.

Marlene Salazar, Ignacio Sánchez, Ileana Boschini, Dirección de Geología y Minas (DGM-MINAE). 8 de marzo, 2016.

Ana Barrantes, artesana local. 4 de marzo, 2016.

José Francisco Bogantes, Municipalidad de Abangares, 4 de marzo, 2016.

Roxana Sibaja, Área de Gestión Ambiental, CCSS. 8 de marzo, 2016.

Alejandra Fernández, Salud sin Daño. 9 de marzo, 2016.

Nestor Chamorro, ingeniero en minería. Consultor. 14 de marzo, 2016.

Jorge Obando, ingeniero en geología con especialidad en minería y petróleo, 20 abril, 2016

Ileana Herrera, Ministerio de Salud, 5 de marzo, 2016.

Adrián Brenes, Ministerio de Salud, 5 de marzo, 2016.



ESTADO de SITUACIÓN: USO de AMALGAMAS y MINERÍA de ORO ARTESANAL en COSTA RICA

COSTA RICA
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

minae

gef

PNUD



CONTENIDO

Prácticas sobre el uso de amalgamas en los centros de atención primaria de la Caja Costarricense del Seguro Social - CCSS 5

La Minería Artesanal en Abangares, Costa Rica 11

Resumen Ejecutivo 13

Antecedentes 15

Rastras 16

Alternativas 19

Análisis de granulometría 19

Procedimiento 20

Procedimiento de la prueba para la recuperación de oro por gravimetría (GRG) 20

Resultados 22

Recomendaciones 23



Prácticas sobre el uso de amalgamas en los centros de atención primaria de la Caja Costarricense del Seguro Social - CCSS



En el sistema de atención de salud pública, actualmente se utilizan amalgamas como material para la obturación dental, esto por ser un material que presenta alta resistencia, durabilidad, de fácil aplicación y bajo costo.

El sistema de salud pública es ejercido a través de la Caja Costarricense del Seguro Social, la cual cuenta con 104 áreas de salud distribuidas en siete regiones:

I. Región Brunca: 06 áreas
II. Región Huetar Atlántica: 08 áreas
III. Región Huetar Norte: 08 áreas
IV. Región Pacífico Central: 11 áreas
V. Región Chorotega: 13 áreas
VI. Región Central Sur: 32 áreas
7. Región Central Norte: 26 áreas

Como parte del servicio que se brinda en las áreas de salud se tiene el servicio de odontología el cual atiende de forma gratuita a todas las persona aseguradas. De acuerdo a un estudio de la salud oral del 2016, se tiene que el índice de riesgo bucodental el cual corresponde a la probabilidad de tener caries, enfermedad periodental, planos cráneo faciales y apiñamiento dental, es liderado por la región Central Norte con 0.0091, siendo el promedio nacional de 0.0045 y con el valor más bajo la región Central Sur con 0.0024.

En cuanto a la tendencia de piezas dentales cariadas se encontró que la media es de un 15% de la población total atendida, no obstante los valores por región se detallan de forma descendente de la siguiente manera: Huetar Atlántica 18%; Central Norte 18%; Huetar Norte 17%; por debajo de ella: Brunca 13%; Central Sur 12%; Chorotega 12%; Pacífico Central 11%.

Con relación a las obturaciones, bajo este estudio se contempló dentro del estado de la pieza denominado pieza sana (sana + sellada + obturada) tienen una prevalencia del 63%, un 15 % de la población presenta caries dental y el 23% de perdida de pieza dental.

De este 63% de prevalencia de pieza sana real, el 29% de esa prevalencia es por pieza sana (promoción de la salud), un 4% de pieza sellada (prevención de enfermedad) y un 29 % de obturación (curativo). Esta denominación de curativo se debe a restauraciones de amalgama y resina.

De acuerdo a la información recopilada, se puede considerar que la población costarricense recibe una atención dental pronta y oportuna. Sin embargo, en el tratamiento de las caries se siguen utilizando las amalgamas por requerir menos tiempo efectivo a nivel de técnico-clínico en relación con la colocación de resinas.

Con el fin de conocer sobre el uso y las prácticas en el manejo de las amalgamas se realizó una encuesta en las diferentes áreas de salud que forman las regiones de la CCSS. Se contemplaron aspectos de ciclo de vida de las cápsulas de amalgama tales como: cantidad usada, almacenamiento, disposición final y necesidades.

En la Figura 1 se observan las regiones de acuerdo al uso mensual de cápsulas, en la mayoría de las regiones exceptuando la región Brunca y Chorotega, sobresalen las áreas de salud en donde se supera el uso de 250 capsulas por mes.

Es importante mencionar que aquellas regiones con mayor cantidad de áreas de salud, cuentan con una mayor población adscrita, que tiene mayor accesibilidad como oportunidad de ser atendidos para mejorar y rehabilitar su estado de salud oral.

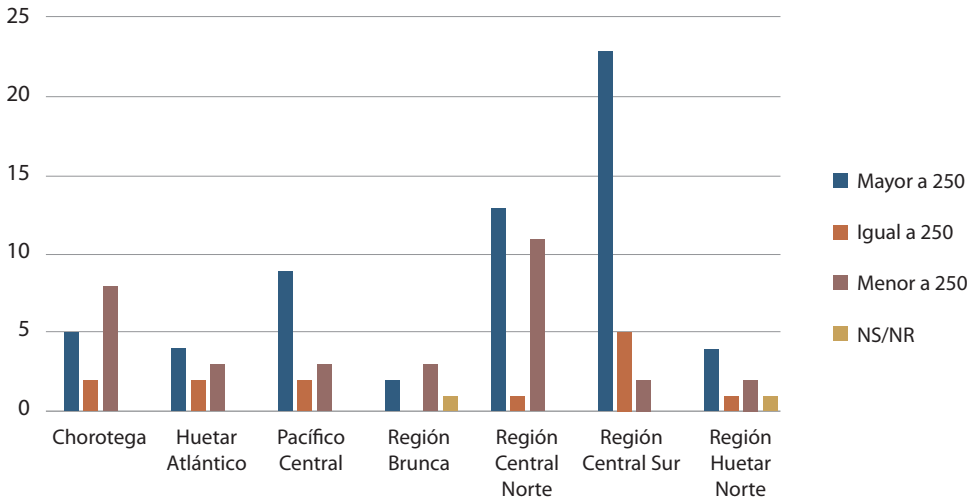


Figura 1. Cantidad aproximada de cápsulas utilizadas por mes

Posteriormente, con relación a las prácticas sobre el almacenamiento y como se observa en la figura 2, en la mayoría de las regiones se realiza tanto el almacenamiento de las cápsulas vacías como el de los restos de amalgama remanente en la canastilla de la silla odontológica. Esta práctica es supervisada por la Coordinación Nacional de la CCSS, en donde además se hace mención que dichos restos deben ser almacenados en recipientes plásticos, herméticos, de pared gruesa y ser rotulado como material "biopeligroso".

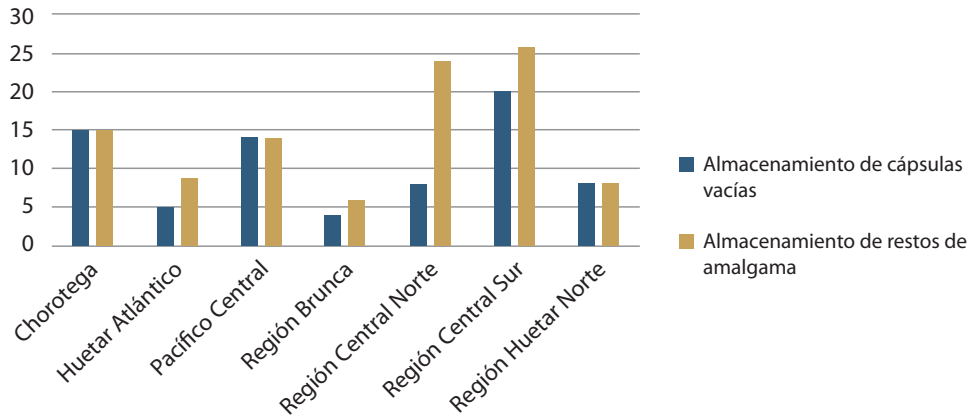


Figura 2. Almacenamiento de capsulas vacías y restos de amalgamas

En cuanto a las limitaciones que enfrentan las áreas de salud para hacer un buen manejo de las amalgamas según lo señala la Figura 3 se destacan aspectos importantes como la capacitación e infraestructura. Dichos aspectos, incluyendo también el presupuestario son de conocimiento de la CCSS por lo que actualmente se trabaja en las mejoras correspondientes hasta donde su marco de competencia lo permite.

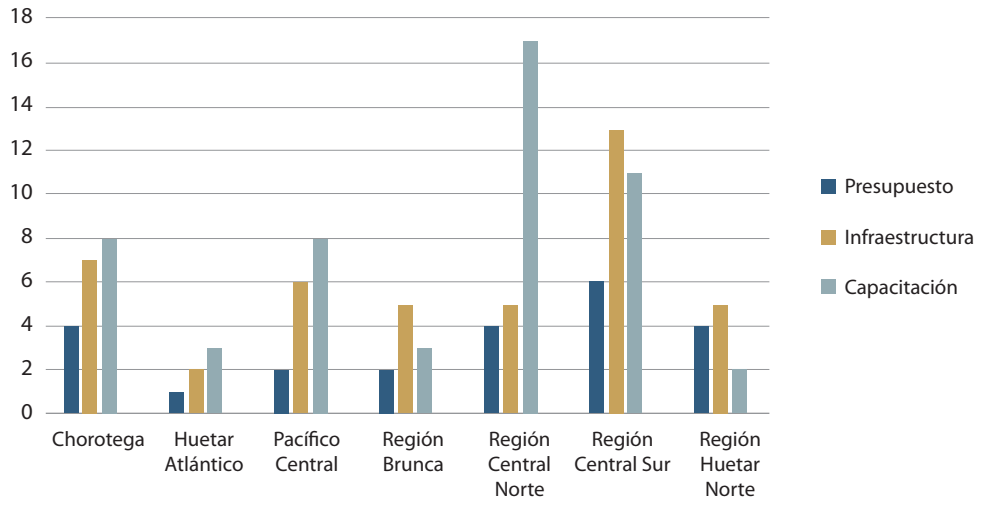


Figura 3. Aspectos relevantes para la gestión de las amalgamas

De acuerdo a la información anterior, la atención de la salud dental a través del sistema público sigue utilizando amalgamas por requerir menos tiempo efectivo a nivel de técnico-clínico en relación con la colocación de resinas. No obstante, se promueven buenas prácticas de manejo de los residuos como lo es el almacenamiento de restos de amalgama como de las cápsulas vacías. El reto final es lograr la centralización de estos residuos y disponerlos de forma adecuada ya que actualmente estos centros de atención no cuentan con la infraestructura adecuada para dicho almacenamiento. Asimismo, se deberá valorar a futuro la implementación progresiva del uso de resinas, una vez que de la oferta y la demanda del mercado logren que los costos de las resinas o sustitutos a la amalgama sean más accesibles y competitivos.

La Minería Artesanal en Abangares,Costa Rica



RESUMEN EJECUTIVO

Los mineros de Abangares producen más de 400 kg de oro cada año, con un valor por encima de 13 millones de dólares. Por lo menos entre 600 a 1000 personas son empleados directamente en la extracción o procesamiento de minerales auríferos. En promedio, cada gramo de oro resulta en emisiones de más de 3 gramos de mercurio, lo que resulta una cifra típica en casos de moler con mercurio. Los molinos en Abangares, llamados 'rastras' son ineficientes, usando una libra de mercurio en cada rastra cada carga de mineral. Las rastras procesan ~450 kg de mineral por día, rascándolo bajo piedras que se mueven en círculos sobre un grueso piso de hierro. Después de moler y vaciar los relaves, recolectan el mercurio y separan la amalgama. Queman el amalgama, a veces con retortas para recuperar el mercurio evaporado, y lo venden a compradores locales. Se estima que cada rastra podría generar mas de 45 mil dólares en lucros/ganancias, con un costo menor a los 10 mil dólares por año. Se producen más de 37 mil toneladas por año de residuos contaminados por mercurio, pero no se ve depósitos de residuos (relaveras) o exceso de sedimentos en los ríos. Eso sugiere que existen empresa(s) que compran los relaves para procesar con lixiviación. La cianuración de residuos con mercurio esta prohibido en el convenio de Minamata, así como la aplicación de mercurio a todo el mineral.

Normalmente los mineros capturan menos de un 40% del oro presente en su mineral con amalgamación. A pesar de esto, en promedio están sacando 10 gramos por tonelada con amalgamación en rastras dependiente del mineral. Afortunadamente, hay métodos de gravimetría que podrían recuperar 60% del oro sin químicos y con poca inversión o entrenamiento. Existen varias opciones y para diseñar la planta óptima es necesario hacer análisis metalúrgicos de varios tipos de mineral en Abangares. Dentro de la comunidad existe mucha capacidad humana, financiamiento, e infraestructura para la minería. Lo que falta es planificación, análisis, diseño y formación en toda la cadena de valor minero.

Abangares es una comunidad con 150 años de historia minera. Anteriormente, existió una empresa extranjera la cual construyó varios socavones (túneles) que dan acceso a diferentes profundidades, o "niveles" del depósito. Estos mismos socavones siguen siendo explotados al día de hoy, pero sin la seguridad y planificación necesaria. Es necesario resolver el tema de concesiones y acceso con el propósito de resolver los problemas de informalidad y falta de desarrollo técnico.

Sin embargo, las condiciones técnicas para una intervención son muy favorables en Abangares. Existe gran voluntad por parte de los mineros de adoptar soluciones que les permita obtener más oro sin contaminación y a un nivel de inversión accesible.

Las cinco recomendaciones principales:

- Introducir los principios de liberación y gravimetría por construcción de plantas piloto que aumenten la producción de oro sin uso de químicos.
- Entrenar a mineros, dueños de plantas, proveedores de equipos, personal del gobierno, como accionar y sostener la cadena de valor.
- Formalizar a los mineros para que puedan producir y exportar legalmente el oro limpio hacia refinadores internacionales y así poder obtener el máximo valor potencial.

- Una vez legalizado el sector, se deben establecer estrictas reglas de seguridad durante el proceso de extracción del mineral, procesos libres de químicos, y manejo de relaves con cianuración industrial en circuito cerrado.
- Eliminar la cianuración de relaves con mercurio, hacer un registro de sitios huérfanos y establecer un plan de manejo para ellos.



Figura 1. **Vista de una rastra alejada del centro poblacional**

ANTECEDENTES

Abangares cuenta con una historia minera de 150 años. En un inicio había empresas extranjeras, y la mayoría de personas eran extranjeras de diferente origen: Italiano, Libanés, entre otros. Cuando dicha empresa cerró no permaneció ninguna tecnología ni conocimiento de beneficiación aurífero ni manejo adecuado de residuos mineros porque la compañía exportaba todo el mineral en bruto.

Antes de la cierre de la mina formal, los Sucucheros invadieron la mina cada noche. Extraían el mineral con piedras en forma de mortero y maja rotacional. Hicieron cortas canaletas (llamados cayucos) con alfombras de ropa reciclada, pero lo usaron solo para capturar el mercurio que escapaba del molino. Usaron canaletas hasta los años 80. Hace sólo 10 años que empezaron a construir rastras.



Figura 2. Rastras se componen de rocas planas de un lado que giran en círculos en una placa de metal. Las rastras son alimentadas con mineral, agua, y mercurio.

Los mineros se encuentran organizados en cooperativas, actualmente existen cuatro, sin embargo, no todos los mineros se encuentran agremiados a una cooperativa. Según datos indicados por la Dirección de Geología y Minas, aproximadamente hay 300 rastras, cada una funcionando en promedio 5 días por semana.

Según manifiestan algunos mineros, el oro presente en el mineral es muy fino, de vetas de cuarzo y sulfuros muy variables. Algunas vetas tienen oro más grueso, y la ley (o concentración) de oro en el mineral es mucho mejor. Adicionalmente, indican que las mejores leyes se encuentran a mayor profundidad,

lo que pone en riesgo la seguridad de los mineros. Dada la informalidad de la actividad no hay catastro de profundidades y bocaminas, por lo que es imposible planificar en caso de emergencias y desastres naturales. Adicionalmente, ninguna cooperativa cuenta con concesiones para la explotación de los terrenos, generando conflictos entre los mismos mineros.

A través de un recorrido por Abangares y sus alrededores, se puede identificar una larga proporción de rastras que procesan sin importar el precio internacional de oro, lo que indica que la minería es todavía rentable para muchos mineros. Las "rastras" visitadas aproximadamente producen entre 700 y 3000 toneladas por año de relaves, los cuáles según indican los mineros, pueden ser vendidos a plantas de lixiviación que compran relaves, para extraer el oro remanente que podría contener hasta un 60% del contenido inicial.



Figura 3. Poza de relaves

RASTRAS

El mineral se procesa en "rastras", que es quizá el molino más primitivo e ineficiente. Los mineros quiebran el mineral a un tamaño de menos de 4 pulgadas y lo transportan en sacos de 30 a 45 kg ('una cajuela' de mineral) a las rastras. Los molinos "rastras" son cilindros reforzados con piso de hierro sobre el cual giran rocas encadenadas que arrastran el mineral contra el piso. La molienda de ese modo no permite ningún control sobre el tamaño de las partículas ni la liberación apropiada del oro, lo cual resulta en un aprovechamiento pobre e ineficiente ya que el tamaño de las partículas es de gran importancia para una liberación más eficiente y productiva, este paso es un eslabón importante hacia una cadena de valor más eficiente y rentable.

En promedio las rastras producen 5 gramos de oro por día, con capacidad de 15 cajuelas por día (un cajuela tiene mas o menos 30 kg de mineral, entonces una rastra procesa ~450 kg por día). En cada cajuela hay en promedio 0.3 gramos de oro, entonces la ley promedio seria cerca de 10 gramos por tonelada. Esto es relativamente rico, y por lo menos debe ser posible aumentar la recuperación de oro con un sistema gravimétrico.

Cuadro 1. Estimaciones de producción y contaminación en Abangares

Oro recuperado en Abangares	400	kilogramos/año
Gramos de mercurio emitido por cada gramo de oro	3.7	Hg:Au
Ingresos de una rastra por año	45000	dólares
Costos de una rastra por año	~6000	dólares
Cantidad de relaves contaminados producido	37000	toneladas/año
Ingresos anuales del sector minero en Abangares	13.5	millones de dólares

Los mineros colocan una libra de mercurio (~453 gramos) en la rastra, y mas de 90% de este mercurio es recuperado cuando sacan la amalgama. Así en un solo paso, liberan, mezclan y amalgaman el oro. Este proceso se llama "amalgamación de todo el mineral" porque todo el mineral esta en contacto con el mercurio. La rastra pulveriza el mercurio al mismo tiempo que lo hace con el mineral, produciendo harina de mercurio que se adhiere a partículas finas y termina en las colas. De acuerdo al Convenio de Minamata, la amalgamación de todo el mineral es la práctica prioritaria número uno a eliminar. Se puede reducir el 50% de la contaminación de mercurio por concentración del oro antes de aplicar mercurio. Es por esto que la concentración gravimétrica es clave para la reducción y eliminación del uso de mercurio.



Figure 4. Adición de mercurio a la rastra (izquierda). Gotas de mercurio pulverizado (derecha)

Los mineros compran nuevo mercurio cada una o dos semanas cuando están procesando tiempo completo. El mercurio cuesta entre 40 y 45 mil Colones por libra (~160 dólares americanos por kilogramo). Aparentemente el mercurio es contrabandeado de Nicaragua. Durante el proceso, en la rastra se adiciona solamente la fracción que se pierde, sin embargo es una gran cantidad de perdidas considerando el total de rastras que funcionan. Según investigaciones preliminares se pierden al menos 3.7 gramos de mercurio para cada gramo de oro extraído. Esto es consistente con balances de masa realizados en otros sitios con rastras en Honduras y Nicaragua, y en todos los lugares donde amalgaman todo el mineral.

Estos residuos tienen mucho valor y dado que no se puede amalgamar más del 50% del oro en el mineral, entonces las colas tendrían al menos 10 gramos por tonelada en oro fino mal liberado. Por esta razón es rentable para las plantas de lixiviación locales comprar estos residuos. Desafortunadamente la cianuración de mercurio puede transformarlo en forma mucho más tóxicas y bioacumulable. Es por esto que, la cianuración de colas con mercurio es una de las cinco prácticas para eliminar de acuerdo al Convenio de Minamata.



Figure 5. Amalgama de oro y mercurio normalmente tiene más de 50% mercurio, y se evapora para refinar.

Una gran cantidad de mineros queman la amalgama en retortas artesanales en la misma planta. Es muy importante establecer la proporción de mineros que queman amalgama cerca de áreas pobladas, porque esto es otra mala práctica que se requiere eliminar.



Figura 6. Retorta en una planta de rastras. Se tapa la tubería y quema. El vapor de mercurio se condensa en una tina llena de agua.

ALTERNATIVAS

En realidad, el problema central que se observa es la falta de optimización de los procesos para el tipo de mineral local. Primero, se necesita quebrar el mineral para alimentar el molino con tamaños apropiados. También es necesario un molino que permita liberar óptimamente el oro, una mejora en las técnicas de molienda es clave de lo contrario las tecnologías de concentración no funcionarán bien. Una vez liberado el oro, se concentraría con varias herramientas en secuencia que concuerden con el tamaño del oro y caudal de material. Una cadena de canaletas o jigs con centrífugas o mesas podrían concentrar hasta llegar a un concentrado mayor de 25% que se puede fundir directamente.

Los relaves de una planta optimizada son muy uniformes en el tamaño de granos tanto como en concentración de oro. Esto es óptimo para la cianuración, y tendría mayor valor por ello. Los sistemas de control y monitoreo permiten conocer claramente cuanto oro queda en el mineral y asiste en negociaciones con lixiviadores. Por la ausencia de mercurio en las colas, estas plantas de cianuración estarían en conformidad con el Convenio de Minamata. El tratamiento de relaves contaminados con mercurio es prohibido bajo ese Convenio.

Un gran desafío es que no se cuenta con profesionales que puedan ayudar a los procesadores de mineral. La minería industrial esta prohibida en Costa Rica y solo se permite a nivel artesanal. Por tanto, no hay formación de ingenieros mineros o a lo mucho de geólogos con énfasis en minería, por lo tanto el país no cuenta con mucha capacidad en esta materia. Así mismo, los departamentos de minería y las universidades internacionales sólo preparan ingenieros mineros para la minería a gran escala o industrial. La mayoría no cuenta con soluciones y procesos para mineros que trabajan a pequeña escala. Sin embargo, se necesita establecer todo un ecosistema de proveedores de equipos, consultores y sistemas de formación minero para cambiar y optimizar la industria de manera sostenible.

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA

Con el fin de conocer mejor las características del material utilizado en Abangares, se extrajeron tres diferentes muestras que fueron enviadas a un laboratorio en el exterior para un **análisis de recuperación de oro por gravimetría** (GRG test, por sus siglas en inglés) y la distribución de tamaños en este análisis para cada una de las muestras.

Este tipo de análisis representa la medida teórica máxima de la cantidad de oro (expresada como un porcentaje del total) que puede ser recuperada del mineral por la tecnología de gravimetría por concentración centrífuga. A partir de este análisis de GRG se obtiene información importante de datos de liberación, potencial de recuperación gravimétrico.

Los resultados obtenidos pueden ser usados para modelar una planta de recuperación así como determinar aquellas variables que afectan la recuperación del oro y de esta manera optimizar los circuitos de concentración.

Procedimiento

La preparación de la muestra y el procedimiento desarrollado se describe de la siguiente manera:

I. Cada muestra fue registrada, pesada y secada al horno.

II. Luego de ser secadas, las muestras de forma individual fueron molidas a un tamaño máximo de 2 mm, homogenizadas y separadas en cargas representativas usando un separador giratorio.

III. Sub muestras fueron tomadas para análisis de oro, plata y espectroscopía ICP multi elemento

IV. Una fracción fue utilizada para determinar la distribución del tamaño de partícula del oro

V. En la tercera etapa, se llevó a cabo un análisis detallado de GRG usando un concentrador centrífugo escala laboratorio Falcon L40

VI. Análisis duplicados de fracciones sobre las colas fueron realizados para determinar la distribución del tamaño de partícula del oro remanente.

Procedimiento de la prueba para la recuperación de oro por gravimetría (GRG)

La prueba de GRG es una metodología estandarizada utilizada para el entendimiento de las especies recuperadas por gravimetría. La prueba involucra moliendas intermedias para recuperar los metales preciosos conforme son liberados y los productos de la prueba pueden ser analizados de acuerdo a su tamaño para determinar el comportamiento de los metales preciosos en el mineral.

La velocidad del Falcon L40 puede ser ajustada, pero típicamente es de 150G (ajustada a 55,3 Hz) para oro y otros metales preciosos.

La muestra es mezclada con agua para producir un lixiviado con 20% a 30% de sólidos. Luego el lixiviado es alimentado al Falcon L40 aproximadamente a 3,2 L/min (equivalente a 0,6 – 1,0 Kg sólidos/min dependiendo de la densidad de la pulpa). Se adiciona agua fluidizada a 3 – 4 L/min. La densidad de la pulpa, la velocidad de alimentación y el requerimiento de agua se pueden ajustar dependiendo del comportamiento de la muestra. Generalmente, es preferible usar la cantidad mínima de agua requerida para mantener una buena suspensión y una operación estable. Los sólidos que no se suspenden fácilmente, generalmente requieren más agua.

A continuación se presenta el diagrama de flujo del procedimiento seguido para la prueba de GRG. Se lleva a cabo moliendas intermedias para incrementar la liberación en cada una de las etapas.

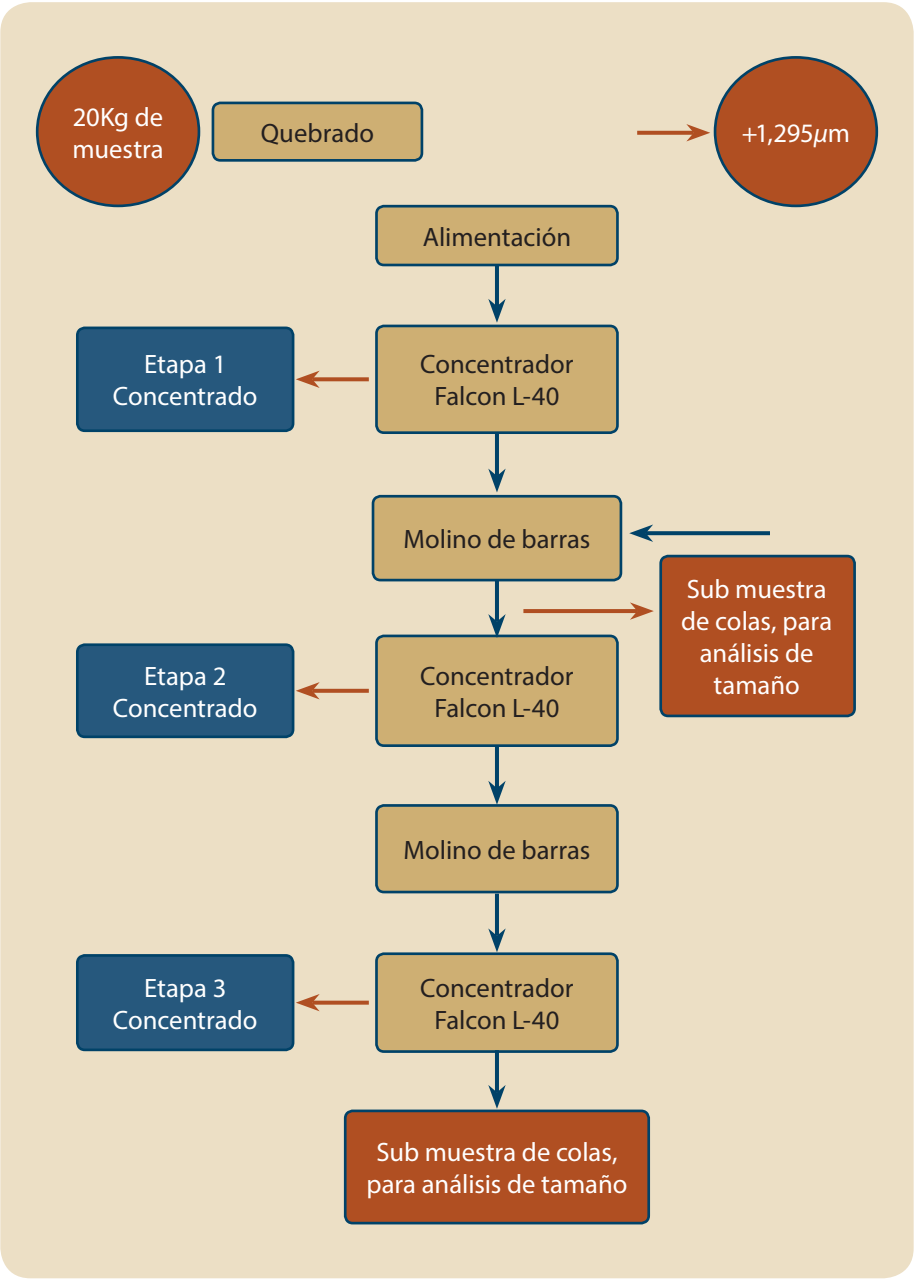


Figura 7. **Diagrama de flujo análisis de recuperación de oro por gravimetría**

Resultados

En total se realizaron tres análisis a tres diferentes tipos de material. A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Muestra	Concentración en la cabeza (g/t)	Calc en la cabeza g/t	GRG (%)	Colas (g/t)	Grado de concentración (g/t)
1	24.13	22.95	70.9	6.80	928.9
2	8.61	8.95	58.9	3.75	278.0
3	41.00	41.20	81.1	7.93	2122.9

Muestra 1

- La muestra tiene un valor de GRG de 70,9% con un valor en la cabeza de 22,95 g/t de oro, y las colas contienen 6,80 g/t de oro.
- 37,8% del oro recuperado en la primera etapa tenía un tamaño de partícula de 231μm (P80)
- La mayor liberación del oro ocurre entre las dos etapas de molienda más finas sugiriendo que el oro esta finamente distribuido.

Muestra 2

- La muestra tiene un valor de GRG de 58,9% con un valor en la cabeza de 8,95g/t de oro, y las colas contienen 3.75g/t de oro
- La etapa de recuperación más alta (25.1%) y el grado de concentración (459g/t de oro) ocurrieron en la tercera etapa, luego de una molienda a 81 μm (P80), esto indica que es importante una molienda fina para maximizar la recuperación del oro.
- La mayor liberación del oro ocurre entre las dos etapas de molienda más finas sugiriendo que el oro esta finamente distribuido.

Muestra 3

- La muestra tiene un valor de GRG de 81,1% con un valor en la cabeza de 41,20 g/t de oro, y las colas contienen 7.93g/t de oro
- La etapa de recuperación más alta (43.1%) y el grado de concentración (3 255 g/t de oro) ocurrieron en la tercera etapa, luego de una molienda a 75 μm (P80), esto indica que es importante una molienda fina para maximizar la recuperación del oro.
- La mayor liberación del oro ocurre entre las dos etapas de molienda más finas sugiriendo que el oro esta finamente distribuido.

RECOMENDACIONES

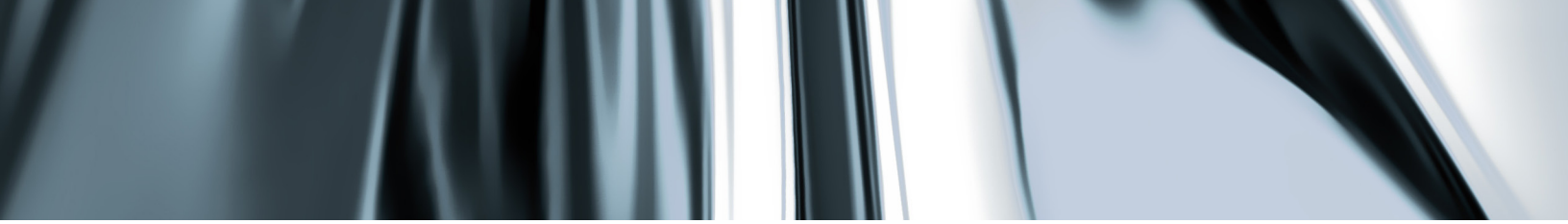
La solución evidente es eliminar el uso de mercurio y sustituir su uso con molinos mas eficientes, con control de tamaños, y gravimetría para concentrar el oro. Los desechos que resultan de las buenas prácticas son libres de mercurio y bien caracterizados para su subsecuente análisis químico y de lixiviación. Como resultado no quedaría una poza de relaves de largo plazo, y finalmente se depositarían los desechos en una instalación industrial con poza de relaves formal y con su debido mantenimiento

Los proveedores de maquinaria para minería a pequeña escala deberían vender sus productos en forma integral, es decir con todo el sistema de procesamiento que sea necesario para garantizar la eficiencia de la parte central del sistema. Pero eso también requiere de una red de consultores y personal técnico en las plantas. No se requiere construir este sistema desde cero ya que existe una demanda local para la construcción de rastras, que se podría dirigir hacia mejores prácticas. Si se pudiera capturar esta demanda con plantas integradas con sistemas más eficientes y mejores sistemas de financiamiento, se podría establecer una nueva industria local de beneficiado responsable y sin químicos. Una planta piloto gravimétrica podría servir como ejemplo para entrenar a operadores, fábricas y proveedores locales.

Un sistema de financiamiento y asistencia técnica será necesario para iniciar el cambio, pero al final un sistema gravimétrico puede resultar bastante sencillo a auto replicar sin impulso de gobiernos ni organizaciones internacionales. Se podría establecer un fondo para la construcción de plantas que se repagaran con las ganancias en eficiencia (oro encima de la producción anterior). Se repagaran los costos de diseño, equipos, instalación y formación de los nuevos operadores de la planta en un periodo de 1-2 años con el oro recuperado como resultado de las mejores prácticas. Este es el modelo que el AGC (Artesanal Gold Council) realizó y en Burkina Faso, y que está aplicando en proyectos en Senegal, Perú, Nicaragua, e Indonesia.

La municipalidad cuenta con 4 hectáreas para un parque minero, y propone alquilar las propiedades para recuperar los costos de electricidad, agua, servicios sanitarios y de seguridad. Esto se ha logrado en otras partes (Colombia, Perú) para eliminar actividades con mercurio dentro de la comunidad. Comúnmente se trasladan las mismas malas prácticas a los nuevo sitios, por lo anterior se recomienda que en Abangares se promueva la instalación de plantas responsables a partir de las mejores prácticas disponibles.

El reto de los desechos no se puede evitar tampoco. Los relaves sin mercurio presentan mucho menos riesgo al ambiente, pero los minerales auríferos pueden tener otros metales pesados y producir ácidos que podrían movilizar contaminación. Entonces un parque minero necesariamente requiere de un buen plan de manejo de depósitos, y la mejor estrategia es venderlos a plantas de cianuración formales.



Marco Jurídico, Institucional y Político

COSTA RICA
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

minae

gef

PNUD



CONTENIDO

Acrónimos 5

I. Análisis de vacíos de la Legislación Costarricense VIS-À-VIS al Convenio de Minamata y propuestas MINAMATA de opciones para llenar vacíos encontrados 7

A. Convenio de Minamata, artículo 3: Fuentes de suministro y comercio de mercurio 7

1. Fuentes de suministro: artículos 3.3, 3.4 y 3.5 (a, b) 8

2. Comercio del mercurio: artículos 3.6 (a, b) y 3.8 11

B. Convenio de Minamata, artículo 4: Productos con mercurio añadido (PMA) 14

C. Convenio de Minamata, artículo 5: Procesos de fabricación que utilizan mercurio o compuestos de mercurio. 18

D. Convenio de Minamata, artículo 7: Extracción de oro artesanal y en pequeña escala (ASGM) 20

E. Convenio de Minamata, artículo 8: Emisiones 22

F. Convenio de Minamata, artículo 9: Liberaciones 25

G. Convenio de Minamata, artículo 10: Almacenamiento provisional ambientalmente racional de mercurio, distinto del mercurio de desecho. 27

H. Convenio de Minamata, artículo 11 de Desechos de Mercurio 29

I. Convenio de Minamata, artículo 12, sitios contaminados 32

II. Conclusiones y recomendaciones 35

III. Anexo I Resumen de análisis legal 37



ACRÓNIMOS

ASGM	Extracción de oro artesanal y en pequeña escala
BAT/BEP	Mejores técnicas disponibles / Mejores prácticas ambientales
CCFL	Lámpara fluorescente de cátodo frío
CFL	Lámpara fluorescente compacta
COP	Conferencia de las partes
Basilea	Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación
Estocolmo	Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes
DGA	Dirección General de Aduanas
DIGECA	Dirección de Gestión de Calidad Ambiental
DGM	Dirección de Geología y Minas
EEFL	Lámpara fluorescente con electrodo externo
ESM	Gestión ambientalmente racional
ICC	Comité de aplicación y cumplimiento
LCD	Pantalla de cristal líquido
LDC	Países menos desarrollados
LED	Diodo emisor de luz
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MINSA	Ministerio de Salud
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
PMA	Producto con mercurio añadido
MCCAP	Planta de cloro-álcali con celdas de mercurio
NAP	Plan nacional de acción
NIP	Plan nacional de aplicación
PIC	Consentimiento fundamentado previo
POPs	Contaminantes orgánicos persistentes
PVC	Polivinilo Chloride
STGSQ	Secretaría Técnica para la Gestión de Sustancias Químicas
VCM	Monómeros de cloruro de vinilo



I. ANÁLISIS DE VACÍOS DE LA LEGISLACIÓN COSTARRICENSE VIS-À-VIS AL CONVENIO DE MINAMATA Y PROPUESTAS MINAMATA DE OPCIONES PARA LLENAR VACÍOS ENCONTRADOS

Costa Rica tiene un extenso marco legal de legislación ambiental que regula el uso del mercurio y anticipa algunos de los requerimientos del Convenio de Minamata; sin embargo, no existe un alineamiento completo con las obligaciones establecidas a las Partes en la Convención. Este capítulo identifica los vacíos entre los requerimientos de la Convención y las regulaciones y medidas existentes en las normas nacionales.

Para efectos de comprensión del presente análisis, es imprescindible aclarar, que se incluyen aquellas cláusulas o normas del Convenio de Minamata que tienen una implicación de obligatoriedad para el país y que deben ser plasmadas y adoptadas con una norma nacional en caso de encontrarse un vacío existente en el marco legal nacional. En otros términos, el análisis está elaborado tomando únicamente los artículos del Convenio de Minamata que conllevan el establecimiento de una medida de prohibición o restricción en las distintas etapas del manejo del mercurio incluyendo la importación y exportación. Por otra parte, los artículos segundo, octavo y noveno contienen definiciones que han sido debidamente revisadas bajo el marco legal nacional, de manera que no existan inconsistencias entre las definiciones encontradas en el marco jurídico nacional y los consignados en el Convenio de Minamata. Es importante aclarar que el análisis inicia a partir del artículo 3, por cuanto es a partir de este artículo que se estipulan obligaciones para el país.

A. Convenio de Minamata, artículo 3: Fuentes de suministro y comercio de mercurio

El artículo 3 del Convenio de Minamata contiene medidas de control destinadas a limitar el suministro global de mercurio metálico, cuyo objetivo es complementar y reforzar las medidas de control de reducción de la demanda de mercurio que se establecen en el artículo 4 inciso 7 del Convenio. Las disposiciones del presente artículo tercero limitan las fuentes del mercurio para uso, comercio y determinan los procedimientos a seguir cuando dicho comercio de mercurio está autorizado.

Las fuentes principales de suministro global de mercurio son cinco:[1]

1. La extracción primaria de mercurio.[2]
2. Los subproductos mercuriales provenientes de la minería de otros metales y de la producción de gas natural[3].
3. Las instalaciones de cloro-álcali desmanteladas.

[1] Disponible en: http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/AwarenessPack/Spanish/UNEP_Mod2_Spanish_Web.pdf.

[2] Extracción primaria de mercurio natural en la que el principal material que se busca es mercurio según se define en el artículo 2.

[3] Extracción y producción de metales en las que el principal metal que se busca no es mercurio. La producción de oro, zinc, plomo, cobre y plata son ejemplos en los que el mercurio es un subproducto, dado que el mercurio está presente en los yacimientos de estos minerales.

4. La recuperación de mercurio de desechos y productos usados que contienen mercurio.
5. Las reservas gubernamentales o privadas de mercurio.

El artículo 3 del Convenio de Minamata restringe el suministro de minería primaria de mercurio y de las plantas de cloro-álcali y persigue identificar todas las grandes reservas de mercurio. Con esta medida, la minería primaria es la fuente menos favorecida por el Convenio ya que es una importante fuente de liberaciones de mercurio al ambiente.

La segunda fuente de suministro que comprende este artículo, es el mercurio procedente de las plantas cloro-álcali desmanteladas, fuente de suministro que ha sido regulado por el Convenio, en vista de la gran cantidad de mercurio potencialmente disponible desde este sector hasta el 2025, fecha de eliminación del mercurio en este tipo de plantas según el artículo 5 del Convenio.

En cuanto al comercio referido en este artículo 3 del Convenio, se establece como requisito el consentimiento fundamentado previo para cualquier transacción comercial de mercurio. Por ello, en el artículo tercero se especifican las relaciones y obligaciones entre las partes del Convenio y las reglas que rigen el comercio entre parte y no parte.

La siguiente sección se encuentra dividida en dos partes para el análisis del artículo 3, la cual comprende la Sección 1 que contiene las fuentes de suministro (artículos 3.3, 3.4 y 3.5 [a, b]) y en la Sección 2 se analiza todo lo referente al comercio del mercurio (artículos 3.6 [a, b] y 3.8 respectivamente).

1. Fuentes de suministro: artículos 3.3, 3.4 y 3.5 (a, b)

Artículo 3, inciso 3: Restricción de nueva minería de mercurio primario

Artículo 3, inciso 3: Restricción de nueva minería de mercurio primario	*Ninguna parte permitirá la extracción primaria de mercurio que no se estuviera realizando en su territorio en la fecha de entrada en vigor del Convenio para ella.*

Artículo 3, inciso 4: Eliminación de minería de mercurio primario existente

Artículo 3, inciso 4: Eliminación de minería de mercurio primario existente	*Cada parte en cuyo territorio se estuvieran realizando actividades de extracción primaria de mercurio en la fecha de entrada en vigor del presente Convenio para ella permitirá esa extracción únicamente por un período de hasta 15 años después de esa fecha. Durante ese período, el mercurio producido por esa extracción solamente se utilizará en la fabricación de productos con mercurio añadido de conformidad con el artículo 4 o en los procesos de fabricación de conformidad con el artículo 5, o bien se eliminará de conformidad con el artículo 11, mediante operaciones que no conduzcan a la recuperación, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa u otros usos.*

Artículo 3, inciso 5, subpárrafo a: Identificación de existencias de mercurio

Artículo 3, inciso 5 subpárrafo b: Disposición de exceso de mercurio de instalaciones cloro-álcali	*b) Adoptará medidas para asegurar que, cuando la parte determine la existencia de exceso de mercurio procedente del desmantelamiento de plantas de producción de cloro-álcali, ese mercurio se deseche de conformidad con las directrices para la gestión ambientalmente racional a que se hace referencia en el párrafo 3 a) del artículo 11, mediante operaciones que no conduzcan a la recuperación, el reciclado, la regeneración, la utilización directa u otros usos.*

Artículo 3, inciso 5, subpárrafo b: El mercurio en las plantas de Cloro-Álcali desmanteladas.

Artículo 3, inciso 6: Restricción de exportaciones de mercurio	*Ninguna parte permitirá la exportación de mercurio, salvo:* *a) A una parte que haya proporcionado a la parte exportadora su consentimiento por escrito y únicamente para: i. Un uso permitido a esa parte importadora en virtud del presente Convenio; o ii. Su almacenamiento provisional ambientalmente racional de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 10; o* *b) A un Estado u organización que no sea parte que haya proporcionado a la parte exportadora su consentimiento por escrito en el que se incluya una certificación que demuestre que: i) El Estado o la organización que no es parte ha adoptado medidas para garantizar la protección de la salud humana y el medio ambiente, así como el cumplimiento de las disposiciones de los artículos 10 y 11; y ii) Ese mercurio se destinará únicamente a un uso permitido a una Parte en virtud del presente Convenio o a su almacenamiento provisional ambientalmente racional de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 10.*

- **Definición y alcance de los artículos 3.3, 3.4 y 3.5 (a, b) relativos a las fuentes de suministro:**

El primero de los incisos del artículo tercero del Convenio es el inciso 3, el cual se refiere específicamente a no permitir la extracción de mercurio "nuevo" en las minas que estuvieran funcionando cuando el Convenio sea ratificado por la Asamblea Legislativa.

Por su parte el artículo 3, inciso 4 del Convenio, requiere que las partes al ratificar el Convenio, permitan la extracción de mercurio en las minas existentes hasta 15 años luego de la ratificación. Asimismo, este artículo tercero inciso cuatro contempla que el mercurio procedente de las minas existentes, no se pueda usar en la minería artesanal y de pequeña escala, porque ésta no está incluida entre los usos permitidos.

Otro aspecto que busca el Convenio de Minamata para cubrir las fuentes de suministro, se encuentra referido en el artículo 3, inciso 5 subpárrafo a) del Convenio, en el cual se requiere identificar reservas de mercurio en el país, mientras que el inciso b de este mismo artículo requiere regular los procesos de desmantelamiento de plantas de cloro-álcali.

- **Normativa nacional concordante:**

Código de Minería Ley No. 6797. Reforma al Código de Minería. Ley No 8904, Artículo 3.-	*No podrán hacerse exploraciones o explotaciones de sustancias minerales sin el previo permiso de exploración o la concesión de explotación. Corresponderá al Ministerio de Economía, Industria y Comercio, por medio de la Dirección de Geología, Minas e Hidrocarburos, otorgar permisos exclusivos de exploración y concesiones de explotación, previo análisis y aprobación del estudio que haga el correspondiente organismo gubernamental de control sobre el impacto ambiental de tales actividades.*
Código de Minería Ley No. 6797. Reforma al Código de Minería. Ley No 8904, Artículo 8 bis.-	*No se otorgarán permisos ni concesiones para actividades de exploración y explotación de minería metálica a cielo abierto en el territorio nacional. Se establece que como excepción se otorgarán, únicamente, permisos de exploración con fines científicos y de investigación*
Reforma decreto ejecutivo Nº 35982-MINAET "Se decreta Moratoria en Minería" , y decreto ejecutivo Nº 34492 "Salvaguarda ambiental para la minería" Decreto No. 36019 –MINAET	*1- Se declara la moratoria nacional por plazo indefinido para la actividad de minería metálica de oro en el territorio nacional. Entendida esta como la exploración, explotación, y el beneficio de los materiales extraídos utilizando cianuro o mercurio.* *2. Que además de la explotación a cielo abierto, se desarrollan otros procesos de extracción de oro que llevan a cabo los mismos procesos de beneficio de los materiales extraídos mediante el uso de cianuro o mercurio.*

Decreto 29300-MINAE Reglamento al Código de Minería, artículo 1	*El presente Decreto tiene como objetivos fundamentales reglamentar la organización, funcionamiento y competencia de la Dirección de Geología y Minas, los requisitos y procedimientos mediante los cuales se regirán las solicitudes de permisos de exploración y de concesiones de explotación sobre los recursos mineros del Estado, tanto para particulares, Municipalidades, instituciones autónomas, como para los contratistas del Estado y la extracción de materiales en cauces de dominio públicos. Asimismo, se regula el conjunto de obligaciones y derechos que poseen los titulares de permisos de exploración y concesiones de explotación minera. Además procurará un equilibrio entre la necesidad de abastecimiento de materiales mineros, cantidad[4] y calidad de los mismos, y los intereses de los administrados, acorde con las nuevas tecnologías de protección al Ambiente y la seguridad de las personas y cosas, regulando las normas y estándares requeridos para los materiales.*

- **Análisis de vacíos:**

Primeramente, el análisis del artículo 3, inciso 3 del Convenio, comprende la obligatoriedad de prohibición de nueva minería de mercurio. Para el cumplimiento de dicho artículo del Convenio de Minamata, la legislación nacional comprende en la reforma al Código de Minería del 2010[5] la veda[6], sin término o plazo legal de caducidad, dada por la Asamblea Legislativa a toda actividad de exploración y explotación de minería metálica, comprendiendo esto como la restricción completa, necesaria para el cumplimiento del Convenio para nueva minería de mercurio primario. Por tanto, en el caso de este artículo 3, inciso 3, la ratificación del Convenio de Minamata no implicaría una contraposición normativa ni tampoco la necesidad de llenar vacío legal alguno, pues ya se encuentra comprendido en la legislación nacional.

Por otra parte, el artículo 3, inciso 4 del Convenio de Minamata, presenta un elemento diferente bajo análisis, la eliminación en un plazo de 15 años de la minería de mercurio primario para las minas existentes. En este caso, la prohibición de minería a cielo abierto según la legislación nacional, específicamente la reforma al Código de Minería, Ley No 8904, artículo 8 y artículo 8 bis, así como la reforma al Decreto Ejecutivo No. 35982-MINAET en el cual se decreta moratoria en minería, y Decreto Ejecutivo No. 34492 "Salvaguarda ambiental para la minería" contemplan y completan la normativa nacional necesaria para dar cumplimiento al inciso 4 del artículo 3 del Convenio de Minamata.

El análisis del artículo 3, inciso 5 del convenio por su parte demuestra que el cumplimiento de este artículo no es necesario llevarlo a cabo ya que el país no tiene reservas de mercurio y tampoco se cuenta con plantas de cloro-álcali[7], motivo por el cual no es necesario realizar un inventario de las existencias de mercurio o compuestos de mercurio a nivel nacional.

Finalmente, el artículo 3, inciso 5 subpárrafo b) del Convenio, requiere regular los procesos de desmantelamiento de plantas de cloro-álcali y según la información disponible por DIGECA hasta la fecha en Costa Rica, no existen dichas instalaciones. En vista de esta premisa el análisis de vacíos muestra que no existe una norma que restrinja el establecimiento a nivel nacional de plantas de este tipo.

- **Competencias:**

El artículo 3 bajo análisis comprende el mercurio y compuestos de mercurio, motivo por el cual la competencia a nivel nacional recae en la Dirección de Geología y Minas[8]; sin embargo, el artículo 3 del

[4] Subrayado no pertenece al original.

[5] Ver supra Código de Minería Ley No. 6797. Reforma al Código de Minería, Ley No 8904, artículo 3 y 8 bis.

[6] Aclaración: La palabra veda se utiliza de acuerdo al diccionario de la lengua española como "la prohibición de una cosa establecida por ley", se diferencia de la palabra moratoria ya que moratoria es la ampliación del tiempo que se concede para hacer una cosa o cumplir una obligación.

[7] Fuente: DIGECA

[8] Supra cita 17.

Convenio en su inciso 5 sub párrafo b comprende las plantas cloro-alcalí, tema que sale de la competencia de la Dirección de Geología y Minas, correspondiendo a la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental-MINAE como autoridad nacional competente y punto focal del Convenio crear la restricción de establecimiento de nuevas plantas de cloro-alcalí en el territorio nacional.

- **Acciones a tomar:**

Como se desprende del análisis de los incisos 3, 4, 5 (a), no se requiere tomar medidas regulatorias pues no existen vacíos o contradicciones en la legislación nacional. La acción a llevar a cabo para el artículo 3, inciso 5, subpárrafo (b) debe establecerse vía Decreto Ejecutivo, pues no existe normativa actualmente establecida que permita ser reformada estableciendo dicha prohibición de instalación para plantas cloro-álcali en el país.

2. Comercio del mercurio: artículos 3.6 (a, b) y 3.8

Artículo 3, inciso 6: Restricción de exportaciones de mercurio

Artículo 3, inciso 6: Restricción de exportaciones de mercurio	*Ninguna parte permitirá la exportación de mercurio, salvo:* *a) A una parte que haya proporcionado a la parte exportadora su consentimiento por escrito y únicamente para: i. Un uso permitido a esa parte importadora en virtud del presente Convenio; o ii. Su almacenamiento provisional ambientalmente racional de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 10; o* *b) A un Estado u organización que no sea parte que haya proporcionado a la parte exportadora su consentimiento por escrito en el que se incluya una certificación que demuestre que: i) El Estado o la organización que no es parte ha adoptado medidas para garantizar la protección de la salud humana y el medio ambiente, así como el cumplimiento de las disposiciones de los artículos 10 y 11; y ii) Ese mercurio se destinará únicamente a un uso permitido a una parte en virtud del presente Convenio o a su almacenamiento provisional ambientalmente racional de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 10.*

Normativa nacional concordante:

Decreto Ejecutivo No. 28930-S Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos Artículo 2	*Definiciones. Para los efectos del presente Decreto se entenderá por:* *Manejo: la fabricación, importación, almacenamiento, distribución. Suministro venta, uso, manipulación o transporte.*
Decreto Ejecutivo No. 28113-S, Reglamento para el Registro de Productos Peligrosos	*Definiciones. Producto peligroso: Todo producto, sustancia u objeto de carácter tóxico, combustible, comburente, inflamable, radioactivo, infeccioso, irritante, corrosivo, según criterios consignados en el anexo 1, u otro declarado como tal por el Ministerio*

- **Análisis de vacíos**

El artículo 3, inciso 6 del Convenio, comprende el establecimiento de dos medidas por el país, la prohibición de exportación o el establecimiento del procedimiento para exportación de mercurio metálico. Como se ha indicado previamente en el análisis de las fuentes de mercurio artículo 3 inciso 3, 4 y 5, la extracción o explotación del mercurio no existe en el país y, además de ello, según la Dirección de Geología y Minas, no existen reservas de mercurio en el país. La legislación nacional comprende el mercurio como producto peligroso de acuerdo con el Reglamento para el Registro de Productos Peligrosos citado supra; sin embargo, la fase de exportación no está comprendida bajo este Reglamento ni tampoco se encuentra comprendido en el Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos. Otro aspecto legal de importancia bajo este artículo, es la competencia establecida en la legislación nacional referida, sea ésta la competencia del Ministerio de Salud en lo referente al manejo de productos peligrosos según los Decretos Ejecutivos No. 28930-S y No. 28113-S.

Por tanto, la legislación nacional presenta dos vacíos importantes:

- La normativa nacional no comprende en la legislación de productos peligrosos la fase de exportación.
- La normativa nacional no comprende la prohibición de exportación de mercurio.

Un aspecto a considerar que presenta la Convención de Minamata es el establecimiento de los procedimientos para exportación, dándole a las partes las dos opciones que se presentan a continuación:

Escenario 1: *el exportador es parte y el importador es parte (artículo 3.6.a)*

Regla general: La exportación de mercurio está prohibida.

Excepción: la exportación de mercurio está permitida si:

a. La parte importadora ha comunicado su consentimiento escrito a la parte exportadora, y
b. El mercurio es solamente para lo siguiente:
    i. Un uso permitido a la parte importadora según el Convenio (definido en el artículo 2.k); o
    ii. Un almacenamiento temporal ambientalmente racional (artículo 10).

Escenario 2: *el exportador es parte y el importador no es parte (artículo 3.6.b)*

1. Regla general: La exportación de mercurio está prohibida.
2. Excepción: Cuando el importador que no es parte ha:
    a. Comunicado su consentimiento escrito a la parte exportadora; y
    b. Certificado que:
        i. Cuenta con medidas vigentes para asegurar la protección de la salud humana y el medio ambiente y asegurar el cumplimiento de las estipulaciones de almacenamiento (artículo 10) y de eliminación final (artículo 11); y
        ii. El mercurio será usado únicamente para el uso permitido por este Convenio o para un almacenamiento temporal ambientalmente racional (Artículo 10).

- **Competencias**

De acuerdo con el Reglamento para el Registro de Productos Peligrosos y el Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos[9] la entidad competente es el Ministerio de Salud, el cual tiene la potestad

[9] Decretos Ejecutivos No. 28930-S y No. 28113-S, respectivamente.

para declarar la peligrosidad de un producto basado en su toxicidad. En el caso del Código de Minería, la Dirección de Geología y Minas es competente en materia de exportación de sustancias minerales y la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental, funciona como el punto focal designado por el Ministro de Ambiente para el Convenio de Minamata. Finalmente, el Ministerio de Hacienda por medio de la Dirección General de Aduanas es la autoridad competente para establecer los sistemas de control de las mercancías que salen del país, en concordancia con la Ley General de Aduanas[10], artículo 24 inciso q.

- **Acciones a tomar**

Se sugiere establecer la prohibición de exportación de mercurio y los compuestos de mercurio por medio de un Decreto Ejecutivo interministerial, sea esto el MINAE-MINSA y se solicite al Ministerio de Hacienda realizar dicha prohibición mediante nota técnica.

Artículo 3, inciso 8: Restricción de importaciones de mercurio

Artículo 3, inciso 8: Restricción de las importaciones de mercurio	*Ninguna Parte permitirá la importación de mercurio de un Estado u organización que no sea Parte a quien comunique su consentimiento por escrito a menos que dicho Estado u organización que no sea Parte haya aportado una certificación de que el mercurio no procede de fuentes no permitidas en virtud del párrafo 3 o del párrafo 5 b).*

- **Definición y alcance del artículo**

Este artículo 3, inciso 8 del Convenio aún requiere algunos detalles importantes acerca del procedimiento de consentimiento fundamentado por las autoridades del Convenio, los cuales serán aportados como guía para las partes en la primera Conferencia de las Partes (COP1). Sin embargo, es importante considerar que el Convenio ha reconocido que algunas de las partes pueden agilizar el procedimiento de consentimiento y por ello el Convenio ha creado los mecanismos del artículo 3, inciso 7 y del artículo 3, inciso 9, para movimiento transfronterizo de mercurio. Es importante destacar bajo este punto, que el procedimiento de importación y exportación establecido por el Convenio para los países que lo adopten, fue desarrollado considerando los exhaustivos controles para la manipulación de mercurio y que ya tienen establecidos amplios controles en la importación-exportación del mercurio.

- **Normativa nacional concordante**

Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos, Decreto Ejecutivo No. 28930-S Artículo 2	*Definiciones. Para los efectos del presente Decreto se entenderá por:* *Manejo: la fabricación, importación, almacenamiento, distribución. Suministro venta, uso, manipulación o transporte.*
Ley General de Salud, Artículo 252	*En todo caso, el Ministerio, en resguardo de la salud de las personas, podrá negar el permiso para importar, fabricar, comerciar, o suministrar sustancias, mezclas de sustancias, productos o mezclas de productos excesivamente tóxicos o capaces de causar daños serios a las personas o animales útiles o inofensivos al hombre u objetos o bienes que pudieren causar accidentes repetidos o que hayan sido declarados peligrosos por el Ministerio. Podrá, asimismo, ordenar un decomiso o el retiro de la circulación; prohibir la continuación de su importación, comercio, aplicación o distribución u ordenar, cuando procediere, cambios en su composición o estructura o en el uso de ciertas materias primas causantes de la peligrosidad de tales bienes.*

- **Análisis de vacíos**

La legislación nacional en materia de productos peligrosos comprende la importación bajo el Reglamento de Manejo de Productos Peligrosos[11]; sin embargo, en este Reglamento no se encuentra prohibi-

[10] Idem. Cita supra No. 12

[11] Decreto Ejecutivo No. 28930-S, Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos, artículo 2

da la importación de mercurio o ninguna otra norma. Bajo las estipulaciones del Convenio el país puede optar por la prohibición general o bien por el procedimiento para la importación y otorgar el consentimiento para importaciones como se detalla en el cuadro que se presenta seguidamente.

*

Escenario 1: *el exportador no es parte* y *el importador es parte (artículo 3.8)*

1. Regla general: la importación de mercurio está prohibida.
2. Excepción: el exportador que no es parte ha certificado que el mercurio no procede de la minería primaria de mercurio o de una planta de cloro-alcalí desmantelada y la Parte importadora ha comunicado su consentimiento por escrito.

- **Competencias**

Con base en el Reglamento sobre el Manejo de Productos Peligrosos[12] y la Ley General de Salud[13], la autoridad competente para establecer la prohibición de importación de mercurio sería el MINSA y el MINAE como punto focal del Convenio de Minamata.

- **Acciones a tomar**

El punto focal debe solicitar a la Dirección General de Aduanas el establecimiento de dicha prohibición en la nota técnica respectiva y esto debe ser respaldado legalmente en un Decreto Ejecutivo nuevo.

B. Convenio de Minamata, artículo 4: Productos con mercurio añadido (PMA)

Según se destaca en el artículo 3 previo, el Convenio procura reducir la contaminación mundial del mercurio a través de medidas complementarias que minimicen el suministro y demanda del mercurio. Dicha demanda de mercurio existe para productos que van desde las baterías hasta productos cosméticos, por ello se incorpora en el Convenio medidas que eliminen progresivamente el uso de mercurio en productos clave, supriman su uso en otros y desanimen la fabricación de nuevos productos que utilicen mercurio.

Para fines de análisis de este artículo, un producto con mercurio añadido (PMA) es definido en el Convenio como un *"producto o componente de un producto al que se haya añadido mercurio o un compuesto de mercurio de manera intencional [artículo 2, f])".* Adicionalmente, el Anexo A parte 1 del Convenio de Minamata, da un listado de los PMA a eliminar.

Artículo 4: (1): Prohibición de manufactura, importación, exportación de mercurio añadido a productos del Anexo A, Parte I[14]

Artículo 4, inciso 1:	*Cada parte prohibirá, adoptando las medidas pertinentes, la fabricación, la importación y la exportación de los* ***productos***[2] *con mercurio añadido incluidos en la parte I del anexo A después de la fecha de eliminación especificada para esos productos, salvo cuando se haya especificado una exclusión en el anexo A o cuando la Parte se haya inscrito para una exención conforme al artículo 6.*

[12] Idem. cita supra No. 23

[13] Idem cita supra No. 8

[14] La negrita no pertenece al original, se ha resaltado para propósitos de análisis ya que el artículo 4 versa sobre productos con mercurio añadido específicamente y no mercurio metálico que es establecido en la regulación del artículo 3 del Convenio de Minamata.

- **Definición y alcance del artículo**

Este artículo 4, inciso 1, del Convenio comprende la prohibición a la fabricación, importación y exportación de productos con mercurio añadido después de la fecha de eliminación de 2020 y que se encuentren en la lista taxativa de la parte I del anexo A. Un aspecto importante en el análisis del alcance de este artículo es la comercialización de Productos con mercurio añadido (PMA) existentes en el país, después del 2020 en que la fabricación, importación y exportación entran a regir como prohibición, motivo por el cual en el país podrán comercializarse las existencias hasta que sean agotadas.

- **Normativa nacional concordante**

La tabla que se presenta a continuación contiene una revisión para cada categoría sobre la existencia de legislación nacional en cada uno de los productos cuya prohibición de manufactura, importación, exportación de mercurio añadido a productos se encuentra en el anexo I, parte I.

Cuadro No. 1 Relación entre los productos con mercurio añadido y la existencia de regulación nacional

Productos con mercurio añadido listado en el anexo A, parte I	Regulación nacional		
	Fabricación	Importación	Exportación
Baterías con ciertas excepciones	No regulado	No regulado	No regulado
Switches y relays	No regulado	No regulado	No regulado
Lámparas fluorescentes compactas (CFL) para usos generales de iluminación	No regulado	No regulado	No regulado
Lámparas fluorescentes lineales (LFL) para usos generales de iluminación	No regulado	No regulado	No regulado
Lámparas de vapor de mercurio a alta presión (HPMV) para usos generales de iluminación	No regulado	No regulado.[15]	No regulado
Mercurio en lámparas fluorescentes de cátodo frío y lámparas fluorescentes de electrodo externo (CCFL y EEFL) para pantallas electrónicas	No regulado	No regulado	No Regulado
Plaguicidas y biocidas	Regulado[16]	Regulado	Regulado
Cosméticos con especificaciones	No regulado	No regulado	No Regulado
Los siguientes aparatos no electrónicos: a) barómetros, b) higrómetros, c) manómetros, d) termómetros y e) esfigmomanómetros.	No Regulado	No regulado	No regulado[17]

- **Análisis de vacíos**

El cuadro 1 anterior evidencia los vacíos legales existentes en el cumplimiento del anexo A, parte 1, dicho cuadro se encuentra estructurado en 3 áreas específicas que son las contempladas por el Convenio en el artículo 4, inciso 1: fabricación, importación y exportación.

[15] El Reglamento Técnico Centroamericano que deroga el Decreto Ejecutivo No 30600 sobre Notificación, Importación y Control de Productos Cosméticos, es derogado por la Resolución Nº 231-2008- RTCA 71.03.45:07 sobre Productos Cosméticos, Mediante Decreto 35031-COMEX-S-MEIC y no contiene disposiciones relativas a la prohibición.

[16] Decreto Ejecutivo No 27769-MAG-S, prohíbe el registro, formulación, fabricación, importación, exportación, tránsito, depósito, almacenamiento, venta y uso agrícola de productos compuestos a base de mercurio.

[17] Reglamento Técnico: RTCR 398: 2006. Metrología. Instrumentos para la Medición de Temperatura del Cuerpo Humano. Termómetros Clínicos de Líquido Metálico en Vidrio con Dispositivo de Máxima, el ente competente es LACOMET

Cómo se desprende del cuadro, la existencia de legislación en el país y que esta cumpla con los requerimientos establecidos por el Convenio de Minamata, se encuentra únicamente contemplado en la prohibición del Decreto Ejecutivo No 27769-MAG-S, el cual contempla el registro, la formulación, fabricación, importación, exportación, tránsito, depósito, almacenamiento, venta *y* uso agrícola de productos compuestos a base de mercurio. Dicha regulación comprende la prohibición absoluta para plaguicidas y biocidas a base de mercurio en las tres categorías específicas y que han sido subrayadas. Por lo tanto no es necesaria una modificación del Decreto indicado. Sin embargo, en el resto de las categorías establecidas en dicho anexo A, parte 1 y que se muestran en el cuadro, no existe legislación nacional promulgada. Un caso importante es la Directriz 011-MINAE, en la cual se prohíbe la adquisición de lámparas fluorescentes lineales, compactas y de alta presión, pero dicha directriz es aplicable solamente para las instituciones del Estado.

Es importante resaltar que en el caso de las luminarias, la Dirección Sectorial de Energía ha regulado mediante el Decreto Ejecutivo No 25584-MINAE-H-MP, las lámparas fluorescentes compactas para el uso racional de energía y se establece un límite máximo por miligramos de contenido de mercurio para dichas lámparas. El vacío en este es que no contempla límites máximos de mercurio en las lámparas fluorescentes.

- **Competencias**

El cuadro 1 comprende distintos productos, cada uno de estos productos representan un tema de competencia para alguno de los tres Ministerios, sea el MINAE, el MAG o el MINSA. Dada la variedad de productos con mercurio añadido listados en el anexo A del Convenio de Minamata, las competencias para el establecimiento de la prohibición en las tres áreas: fabricación, importación y exportación, comprende los Ministerios de Ambiente y Salud, pues como fue señalado, el Ministerio de Agricultura ya posee la prohibición para su categoría de productos correspondiente, quedando el resto de los productos para ser restringidos por los Ministerios de Ambiente y Salud. El MINAE como punto focal del Convenio debe solicitar a la Dirección General de Aduanas el establecimiento de dicha restricción bajo la nota técnica correspondiente.

- **Acciones a tomar**

Aquellos accesorios bajo partidas arancelarias que puedan contener mercurio, deben ser regulados mediante una nota técnica de manera que la DGA prohíba su introducción al país. Para las categorías de fabricación y exportación las mismas deben ser establecidas como prohibición mediante un Decreto Ejecutivo nuevo. Para la categoría de luminarias y lo contemplado en el Decreto Ejecutivo No 25584-MINAE-H-MP es imprescindible que la legislación nacional que se promulgue, reforme dicho decreto, para que el límite de contenido de mercurio sea acorde con el establecido en cada una de las categorías del anexo A del Convenio.

Artículo 4, inciso 6 y 5, inciso 7: Desincentivo de nuevos productos y procesos con uso intencional de mercurio.

Artículo 4, inciso 6	*6. Cada Parte desincentivará la fabricación y la distribución con fines comerciales de productos con mercurio añadido para usos que no estén comprendidos en ninguno de los usos conocidos de esos productos antes de la fecha de entrada en vigor del presente Convenio para ella, a menos que una evaluación de los riesgos y beneficios de ese producto demuestre beneficios para la salud humana o el medio ambiente. La Parte proporcionará a la Secretaría, según proceda, información sobre cualquier producto de ese tipo, incluida cualquier información sobre los riesgos y beneficios para la salud humana y el medio ambiente. La Secretaría pondrá esa información a disposición del público.*

Artículo 5, inciso 7	*7. Las Partes desincentivarán el establecimiento de instalaciones, no existentes antes de la fecha de entrada en vigor del presente Convenio, que usen cualquier otro proceso de fabricación en el que se utilice mercurio o compuestos de mercurio de manera intencional, salvo que la Parte pueda demostrar, a satisfacción de la Conferencia de las Partes, que el proceso de fabricación reporta un beneficio importante para el medio ambiente y la salud, y que no existen alternativas sin mercurio viables desde el punto de vista económico y técnico que ofrezcan ese beneficio.*

Definición y alcance del artículo

Los artículos 4, inciso 6 y el artículo 5, inciso 7 del Convenio, introducen obligaciones para las Partes con el fin de tomar medidas apropiadas que desincentiven los productos con mercurio añadido o los procesos con manufactura en los cuales el mercurio o compuestos con mercurio son intencionalmente usados. El término desincentivar, no se encuentra definido en el Convenio de Minamata y existe un ámbito para la interpretación de cómo implementar las medidas necesarias.

- **Normativa nacional concordante**

Ley General de Salud, artículos 240 y 252	*Art 240: Toda persona natural o jurídica que se ocupe de la importación, fabricación, manipulación, almacenamiento, venta, distribución y transporte y suministro de sustancias o productos tóxicos, sustancias peligrosas o declaradas peligrosas por el Ministerio deberá velar porque tales operaciones se realicen en condiciones que eliminen o disminuyan en lo posible el riesgo para la salud y seguridad de las personas y animales que quedan expuestos a ese riesgo o peligro con ocasión de su trabajo, tenencia, uso o consumo, según corresponda.* *Art 252: En todo caso, el Ministerio, en resguardo de la salud de las personas, podrá negar el permiso para importar, fabricar, comerciar, o suministrar sustancias, mezclas de sustancias, productos o mezclas de productos excesivamente tóxicos o capaces de causar daños serios a las personas o animales útiles o inofensivos al hombre u objetos o bienes que pudieren causar accidentes repetidos o que hayan sido declarados peligrosos por el Ministerio. Podrá, asimismo, ordenar un decomiso o el retiro de la circulación; prohibir la continuación de su importación, comercio, aplicación o distribución u ordenar, cuando procediere, cambios en su composición o estructura o en el uso de ciertas materias primas causantes de la peligrosidad de tales bienes.*

- **Análisis de vacíos**

El Convenio requiere que las partes desincentiven la fabricación y la distribución con fines comerciales de productos con mercurio añadido, así como el desincentivo al establecimiento de instalaciones no existentes con la ratificación por la Asamblea Legislativa.

El análisis de vacíos de la legislación nacional demuestra que no existe legislación que cubra dichos requerimientos.

a. No existe una prohibición condicional como mecanismo para evitar que nuevos productos y procesos entren en el mercado.
b. No existe una restricción explícita sobre usos del mercurio en productos con mercurio añadido.

Es importante considerar que el mercurio se continúa utilizando en productos como amalgamas dentales y plantas de cloro-álcali, con celdas de mercurio, por lo que se estima que la eliminación de los productos para el 2017, es posible que el país no cuente aún con productos comerciales desarrollados libres de mercurio.

- **Competencias**

La legislación en materia de salud contiene las normativas directas que amparan al Ministerio de Salud para el establecimiento de las restricciones requeridas por el Convenio. Específicamente, el Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento[18], se deriva de la misma Ley General de Salud y cuyo ente competente para otorgar cualquier permiso sanitario de funcionamiento es este Ministerio, la restricción específica debe provenir de este ente en conjunto con el MINAE, el cual deberá desincentivar el establecimiento de procesos de fabricación mediante la restricción de otorgamiento de viabilidad ambiental a proyectos que manufacturen productos con mercurio añadido. El amparo legal del MINAE para dicha restricción se encuentra en la Ley Orgánica del Ambiente[19], No. 7554 artículo 60.

- **Acciones a tomar**

Los mecanismos para desincentivar la fabricación de PMA deben provenir de ambos Ministerios, Salud y Ambiente. Por una parte en la restricción de permisos de funcionamiento donde se pretenda instalar fábricas y el no otorgamiento de viabilidad ambiental para aquellas instalaciones que utilicen mercurio.

En el caso del desincentivo sobre la comercialización debe ser regulado mediante restricciones de manera escalonada anual o mediante cuotas de importación para productos con mercurio añadido, esta última medida establecida mediante una nota técnica.

Para el caso concreto de no establecimiento de instalaciones con procesos de fabricación con mercurio debe ser establecida mediante un Decreto Ejecutivo que comprenda la restricción de procesos de fabricación y modifique Reglamento General para el otorgamiento de permisos de funcionamiento[20], y el Reglamento general sobre los procedimientos de evaluación de impacto ambiental[21].

C. Convenio de Minamata, artículo 5: Procesos de fabricación que utilizan mercurio o compuestos de mercurio.

Algunos procesos de fabricación utilizan mercurio, por lo que las medidas de control para prohibir o restringir el uso de mercurio en estos es un elemento importante para reducir la demanda mundial. Particularmente dos procesos consumen la mayor parte del mercurio, a) el mercurio como catalizador para producir cloro en las plantas cloro-álcali con celdas de mercurio y b) el mercurio como catalizador para producir cloruro de vinilo monómero como precursor del PVC. Ambos procesos no se realizan en Costa Rica.

Artículo 5 (3): restricciones de uso de mercurio en cloruro de vinilo/metilato o etilato de sodio o potasio y poliuretano

Artículo 5, inciso 3	*3. Cada Parte adoptará medidas para restringir el uso de mercurio o compuestos de mercurio en los procesos incluidos en la parte II del anexo B de conformidad con las disposiciones que allí se establecen.*

18 Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento, Decreto Ejecutivo No. 35145-S, Publicado en la Gaceta el 9 de septiembre de 2008.

19 Idem. Cita supra no. 5

20 Idem. Cita supra No. 30

21 Decreto Ejecutivo 37803-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC: Adición y Modificación al Reglamento General Sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Artículo 5, inciso 6: Producción de uso de mercurio en instalaciones nuevas del anexo B

Artículo 5, inciso 6	*6. Ninguna Parte permitirá el uso de mercurio ni de compuestos de mercurio en instalaciones que no existieran antes de la fecha de entrada en vigor del presente Convenio para la Parte y que utilicen procesos de fabricación incluidos en el anexo B. A esas instalaciones no se les otorgará exención alguna.*

- **Definición y alcance del artículo**

De acuerdo al artículo 5, inciso 3 del Convenio, debe establecerse una restricción en el uso de mercurio o compuestos de mercurio, para ello debe determinarse si existen industrias que lo utilicen en cada país. De no existir estas industrias, las opciones legales que se presentan a las partes son, introducir una prohibición explícita del uso del mercurio y establecer una iniciativa para incentivar la eliminación de los compuestos de mercurio.

A continuación se presenta un resumen del uso que se da a cada uno de los siguientes procesos en los que se utiliza mercurio y restricciones legales establecidas en el Convenio:

- Producción de monómeros de cloruro de vinilo (VCM): En el caso de China los procesos productivos utilizan un catalizador de mercurio porque se fabrica a partir de carbón, mientras que otros países lo hacen a partir de petróleo. El texto del Convenio acepta implícitamente continuar utilizando carbón y no establece una alternativa para el mercurio económicamente viable para los procesos existentes. Adicionalmente, como la eliminación del uso del mercurio en monómeros de cloruro de vinilo se iniciará a partir del 2020, no se requieren las enmiendas del anexo B para eliminar completamente ese uso del mercurio.
- Metilato o Etilato de sodio o potásico: Es un compuesto que se utiliza como catalizador en la fabricación de biodiesel. Solamente dos fábricas en Alemania siguen utilizando mercurio para este tipo de producción, por lo tanto no es aplicable para Costa Rica. Como la eliminación del uso del mercurio para producir estos compuestos empezará cuando lo decida la COP, no se requiere aplicar las enmiendas del anexo B en Costa Rica.
- Poliuretano: Son necesarias las enmiendas del anexo B para eliminar completamente el uso del mercurio.

Es importante resaltar que los compuestos indicados anteriormente para la aplicación de las medidas, dependerá de la futura interpretación que realice la Conferencia de las Partes, a fin de eliminar en el plazo de 10 años el uso del mercurio en la producción de poliuretano y de metilatos/. Adicionalmente, debe resaltarse que Costa Rica no puede autorizar el funcionamiento de nuevas fábricas que utilicen mercurio para hacer monómeros de cloruro de vinilo, metilato o etilato de sodio o potásico, ni Poliuretano, una vez que el Convenio entra en vigor para el país.

Finalmente, esta sección del artículo 5 del Convenio de Minamata comprende la eliminación de la fabricación con mercurio o compuestos en las plantas existentes artículo 5, inciso 5, y la prohibición para nuevas instalaciones en el país artículo 5(6).

- **Normativa nacional concordante**

No existe normativa específica que regule ninguno de los procesos descritos.

- **Análisis de vacíos**

No hay normativa que establezca la prohibición para el uso de mercurio en dichos procesos.

- **Competencias**

De acuerdo con los artículos 60, 64 y 68 de la Ley Orgánica del Ambiente[22], el MINAE tiene la potestad legal para prohibir dichos procesos, pero debe realizarlo en conjunto con el Ministerio de Salud ya que es la única competente para estas según lo señalado en el artículo 296 de la Ley General de Salud (Ley No. 5395).

- **Acciones a tomar:**

El punto focal para llevar a cabo este proceso puede realizar dos acciones:

Primero, modificación a los siguientes reglamentos:

- Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental[23], al cual debe adicionarse la prohibición de cualquier proceso que incorpore mercurio.
- Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento[24] , el cual debe explicar claramente que no se otorgará permiso de funcionamiento en ninguno de los casos previstos.

La importancia de ambos reglamentos radica en que sus anexos comprenden clasificaciones de actividades que se enmarcan según el código CIIU, los cuales no restringen los procesos, no se prohíben las nuevas instalaciones y no comprende la eliminación de las existentes.

El segundo punto de importancia, es la inclusión de la prohibición de los procesos, la eliminación de instalaciones existentes y de nuevas instalaciones por medio de un Decreto Ejecutivo nuevo, en el cual se determine que el MINSA no puede otorgar permisos de funcionamiento para actividades que comprendan procesos que incorporen mercurio. La mejor recomendación para el punto focal es que pueden hacerse modificaciones a ambos reglamentos, al Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental y al Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento.

D. Convenio de Minamata, artículo 7: Extracción de oro artesanal y en pequeña escala (ASGM)

La ASGM viene definida en el artículo 2 del Convenio, como la extracción llevada a cabo por mineros particulares o pequeñas empresas con una inversión de capital y producción limitadas.

Para el análisis de este artículo es importante mencionar que no incluye:

- La extracción de oro a gran escala.
- Las emisiones y liberaciones de minería de oro a gran escala, además se encuentran cubiertas por los artículos 8 y 9 respectivamente.
- La extracción artesanal y en pequeña escala de materiales distintos al oro.[25]

Para propósitos de este análisis se considera el artículo 2, inciso A, de manera que se logre una mejor comprensión de la definición de minería artesanal y pequeña escala. De la misma manera se extrae del marco legal nacional la definición de minería en pequeña escala y artesanal en el Código de Minería y sus reformas, artículo 8, párrafo 9[26], así como en el Reglamento de la Actividad Minera y en pequeña escala para subsistencia familiar por parte de Cooperativas Mineras, Decreto Ejecutivo No. 37225.

---

[22] Idem. Cita Supra No. 5

[23] Idem. Cita Supra No. 33.

[24] Idem. Cita Supra No. 30

[25] Nota: Cuando se obtiene oro y otros materiales en la misma operación, el artículo 7 no es aplicable. Por otra parte, en el caso de extracción de oro artesanal y en pequeña escala de materiales distintos al oro que utilice mercurio, otras disposiciones del Convenio pueden ser aplicables, como por ejemplo el artículo 9 sobre liberaciones a suelo y agua, artículo 10 sobre almacenamiento y artículo 11 sobre gestión de desechos.

[26] Ley 8904, Reforma al Código de Minería y sus reformas. Fecha 01 Diciembre, 2010.

Artículo 2, inciso a): Extracción de oro artesanal y en pequeña escala	*Se entiende la extracción llevada a cabo por mineros particulares o pequeñas empresas con una inversión de capital y una producción limitada.*

- **Normativa nacional concordante**

Definición en el Código de Minería y sus reformas, artículo 8, párrafo 9[27]	*Se entiende como minería en pequeña escala para subsistencia familiar la extracción subterránea que se realiza mediante trabajo colectivo manual y mecánico, donde el volumen a extraer lo establece la Dirección de Geología y Minas, de acuerdo con los estudios técnicos-geológicos presentados en la solicitud de la concesión, tomando en cuenta la utilización de técnicas modernas de explotación para maximizar la extracción metálica y la protección del ambiente, consecuentemente con el desarrollo sostenible. Para la determinación del volumen a concesionar, la Dirección de Geología y Minas deberá aplicar criterios de equidad y proporcionalidad de acuerdo con el número de personas trabajadoras afiliadas y las solicitudes de concesión*
Reglamento de la Actividad Minera y en pequeña escala para subsistencia familiar por parte de Cooperativas Mineras, Decreto No. 37225	*f) Minería Artesanal Metálica: Se considera minería artesanal metálica, aquella que se realiza mediante el trabajo individual, familiar o mediante asociaciones, sin utilizar métodos mecánicos, con la ayuda de herramientas tales como pico, pala, barra y otra similar.* *g) Orero o Coligallero: Persona que extrae mineral metálico en forma artesanal.* *h) Minería Metálica a Pequeña Escala: Se entiende como minería en pequeña escala para subsistencia familiar la extracción subterránea que se realiza mediante trabajo colectivo manual y mecánico, donde el volumen a extraer lo establece la Dirección de Geología y Minas, de acuerdo con los estudios técnicos-geológicos presentados en la solicitud de la concesión, tomando en cuenta la utilización de técnicas modernas de explotación para maximizar la extracción metálica y la protección del ambiente, consecuentemente, con el desarrollo sostenible. Para la determinación del volumen a concesionar, la Dirección de Geología y Minas deberá aplicar criterios de equidad y proporcionalidad, de acuerdo con el número de personas trabajadoras afiliadas y las solicitudes de concesión.* *Para cualquier otro término no especificado en este artículo, aplicarán las definiciones que se establecen en el Código de Minería y su Reglamento.*

Artículo 7, inciso 2): Extracción de oro artesanal y en pequeña escala

Artículo 7, inciso 2:	*2. Cada Parte en cuyo territorio se realicen actividades de extracción y tratamiento de oro artesanales y en pequeña escala sujetas al presente artículo adoptará medidas para reducir y, cuando sea viable, eliminar el uso de mercurio y de compuestos de mercurio de esas actividades y las emisiones y liberaciones de mercurio en el medio ambiente provenientes de ellas.*

- **Definición y alcance del artículo**

El presente artículo se refiere a la necesidad de adoptar medidas para reducir y cuando sea viable, eliminar el uso de mercurio. Dicha obligación es fundamental para las partes que utilicen mercurio en la minería artesanal y en pequeña escala, incluso para los países con actividades mineras insignificantes que no tienen que preparar un plan de acción según lo establece el Convenio.

[27] Ley 8904, Reforma al Código de Minería y sus reformas. Fecha 01 Diciembre, 2010.

- **Normativa nacional concordante:**

Código de Minería y sus reformas[28] *TRANSITORIO I.-*	*Durante el plazo de ocho años, contado a partir de la entrada en vigencia de esta reforma, la prohibición de utilización de técnicas de lixiviación con cianuro y mercurio no regirá para los trabajadores organizados en cooperativas mineras dedicadas a la explotación de minería en pequeña escala para subsistencia familiar, artesanal y coligallero. En ese plazo, estas personas tendrán la obligación de reconvertir su actividad al desarrollo de tecnologías alternativas más amigables con el ambiente; para ello, contarán con el apoyo, el asesoramiento y la asistencia técnica y financiera del Estado costarricense. Asimismo, en un plazo de tres años, el Estado procurará los esfuerzos necesarios para promover alternativas productivas sustentables como turismo minero, la orfebrería u otras opciones que den valor agregado a la producción minera en pequeña escala para subsistencia familiar, artesanal y coligallero.*
Código de Minería Ley No. 6797, Reforma al Código de Minería. Ley No 8904, artículo 3.-	*No podrán hacerse exploraciones o explotaciones de sustancias minerales sin el previo permiso de exploración o la concesión de explotación. Corresponderá al Ministerio de Economía, Industria y Comercio, por medio de la Dirección de Geología, Minas e Hidrocarburos, otorgar permisos exclusivos de exploración y concesiones de explotación, previo análisis y aprobación del estudio que haga el correspondiente organismo gubernamental de control sobre el impacto ambiental de tales actividades.*

- **Análisis de vacíos**

La legislación nacional comprende en la reforma a la Ley de Minería, Ley No. 8904, la incorporación del transitorio I mencionado antes; dicho transitorio completa la normativa necesaria para que no existan vacíos en la aplicación del Convenio, especialmente las medidas de reconversión tecnológica y uso de mejores prácticas en la actividad. Además, como se desprende del artículo 2, inciso a) del Convenio, la definición incluye a particulares y a pequeñas empresas ambos con una inversión de capital y producción limitadas. Para el caso de Costa Rica, la definición es más amplia, lo cual es así, pues el Convenio lo estableció con dicho propósito, para incluir las variaciones de los diferentes contextos nacionales. Un aspecto importante del Convenio es que no distingue entre minería artesanal formal o informal abarcando entonces ambos tipos, mientras que la legislación nacional lo identifica como formal basado en la necesidad de agremiarse o el proceso de registro establecido ante la Dirección de Geología y Minas. Por tanto, no es necesario realizar reformas o llenar vacíos para el cumplimiento de este artículo 7 del Convenio.

- **Competencias**

De acuerdo con el Código de Minería y sus reformas, artículo 3, el ente competente para el control y verificación de las medidas es la Dirección de Geología y Minas.

- **Acciones a tomar**

En vista que la legislación nacional completa los requerimientos legales necesarios para el cumplimiento del Convenio, no es necesario llevar a cabo acciones para este artículo del Convenio.

E. Convenio de Minamata, artículo 8: Emisiones

El propósito de este artículo es reducir las emisiones atmosféricas de mercurio de cinco de las principales categorías de fuente identificadas en el Convenio. El anexo D aporta un listado de las cinco categorías de fuente contempladas:

a. Centrales eléctricas de carbón
b. Calderas industriales de carbón

[28] Ley 8904, Reforma al Código de Minería y sus reformas. Fecha 01 Diciembre, 2010.

c. Procesos de fundición y calcinación utilizados para producir plomo, zinc, cobre y oro industrial[29].
d. Incineradores de desechos[30].
e. Cementeras[31].

Artículo 8, inciso 2 (b) control de emisiones de aire

Artículo 8, inciso 2 (b)	*b) Por "fuente pertinente" se entiende una fuente que entra dentro de una de las categorías enumeradas en el anexo D. Una Parte podrá, si así lo desea, establecer criterios para identificar las fuentes incluidas en una de las categorías enumeradas en el anexo D, siempre que esos criterios incluyan al menos el 75% de las emisiones procedentes de esa categoría;*

Artículo 8, inciso 4) control de emisiones de aire

Artículo 8, inciso 4)	*4) En lo relativo a las nuevas fuentes, cada Parte exigirá el uso de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para controlar y, cuando sea viable, reducir las emisiones lo antes factible, pero en cualquier caso antes de que transcurran cinco años desde la entrada en vigor del Convenio para esa Parte. Una parte podrá utilizar valores límite de emisión que sean compatibles con la aplicación de las mejores técnicas disponibles.*

- **Definición y alcance de los artículos**

La importancia de citar el artículo 8, inciso 2 (b) que se establece en este análisis, se debe a que el país puede elegir no regular todas las fuentes establecidas en el Convenio; o sea, puede regular una, algunas o todas, pero siempre y cuando las fuentes reguladas supongan al menos el 75% de las emisiones establecidas en la fuente que establece el Convenio. En el caso de Costa Rica que cuenta con un limitado número de fuentes de emisiones, es más fácil ocuparse de todas las cinco que son establecidas en el Convenio y fijar los límites de emisiones de éstas.

Para el caso del artículo 8, inciso 4 del Convenio, este se refiere a una nueva fuente como aquella cuya construcción o modificación sustancial empiece dentro del año siguiente a la entrada en vigor (ratificación) del Convenio.

[29] Las instalaciones de oro industrial son grandes operaciones industriales en las que el mercurio está presente como impureza en la mena y que puede ser capturado por dispositivos de control de emisiones.

[30] En las incineradoras de desechos se incluyen las que queman desechos peligrosos, desechos municipales, desechos médicos y lodos de depuración.

[31] Se entiende que en la categoría de producción de cemento se incluyen también las cementeras que coincineran desechos.

- **Normativa nacional concordante**

Centrales Eléctricas de Carbón y Calderas Industriales de Carbón	*Ley de Uso Racional de Energía, Ley No. 7447, Art 26*	*Los locales y las instalaciones de carácter industrial, comercial o público por establecerse, que utilicen maquinaria o equipos cuyos combustibles produzcan gases de desecho, deberán cumplir con los requisitos que, en material energética y ambiental, dicte el MIRENEM, con respecto a la instalación, la operación, la instrumentación y el control de los sistemas de combustión. Estos requisitos deberán publicarse por lo menos una vez al año en el diario oficial. En esta materia, los establecimientos ya existentes, se regirán por lo dispuesto en la Ley General de Salud No. 5395, del 30 de octubre de 1973. En los locales y las instalaciones por establecerse, le corresponderá al MIRENEM inspeccionar, aprobar o improbar definitivamente los planos, la instalación, los métodos de operación, la instrumentación y el control de los sistemas de combustión de fuente fija o estacionaria. La maquinaria o los equipos que no cuenten con la aprobación del MIRENEM no podrán instalarse ni operarse.*
Centrales Eléctricas de Carbón y Calderas Industriales de Carbón	*Reglamento a la Ley 7447, Regulación de Sistemas de Combustión Fijos, Decreto Ejecutivo No. 25584 MINAE-H-MP*	*Se entenderá como sistema de combustión fijos a las instalaciones o equipos que utilicen combustibles que produzcan gases de desecho pertenecientes a locales industriales, comerciales o públicos con capacidades superiores a 25 litros por hora de cualquier derivado petróleo ó 1 GJ/h (277.7 kW o 372.5 HP) o de cualquier otro combustible.*
Procesos de fundición y calcinación utilizados en la producción de materiales no ferrosos	*Reglamento Sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto, Decreto Ejecutivo No. 36551, Art 2.*	*Autoridad Competente: MINSA*
Procesos de fundición y calcinación utilizados en la producción de materiales no ferrosos	*Reglamento sobre límites de emisiones al aire para hornos de fundición de vidrio. Decreto Ejecutivo No. 38237-S, Art. 9*	*Fija límite de 5mg/l de mercurio*
Plantas de incineración de desechos	*Reglamento sobre condiciones de operación y control de emisiones de instalaciones para co-incineración de residuos sólidos ordinarios, Decreto Ejecutivo No. 39136-S-MINAE, Cuadro 1.*	*Limite máximos de emisiones atmosféricas para metales pesados mercurio expresado en (mg/m³) 0,05*
Fábricas de cemento Clinker	Reglamento de requisitos, condiciones y controles para la utilización de combustibles alternos en los hornos cementeros. Decreto Ejecutivo No. 31837-S, Art 1.	Valor límite de mercurio: 50mg/L

- **Análisis de vacíos**

La normativa anterior incluye para cada una de las categorías de fuentes de emisiones establecidas en el anexo D, los límites máximos de mercurio en las distintas fuentes de emisión. Para el caso específico de las centrales eléctricas e industrias de carbón no se establece un límite máximo de valores permisibles de mercurio, lo que significa un vacío que debe llenarse. El país no cuenta con centrales eléctricas de carbón y no se contempla en el plan de generación eléctrica del ICE[32] el desarrollo de ninguna planta basada en carbón, además de encontrarse totalmente contrario a la política nacional de cambio climático[33] y a la meta de carbono neutralidad; sin embargo, el uso del carbón para calderas industriales no tiene límites fijados sobre mercurio. Además, dado el bajo costo del carbón mineral en el mercado internacional para la producción energética convierte al carbón en una fuente energética que podría interesar, lo cual hace que dicho límite no pueda obviarse de ser regulado. El Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto[34] contempla el uso del carbón mineral como utilización de combustibles fósiles sólidos en calderas y hornos de tipo indirecto, (carbón mineral y otros: 100 mg/m3 [TPN], para todos los tamaños de calderas y hornos de tipo indirecto).

- **Competencias**

Las competencias institucionales relacionadas con cada una de las categorías de las fuentes del anexo D, se comparten entre el MINAE a través de la Dirección Sectorial de Energía y el Ministerio de Salud.

La Ley Orgánica del Ambiente y la Ley General de Salud otorgan potestades a las dos instituciones en la regulación de las emisiones atmosféricas, pero la competencia del MINAE se amplía bajo la Ley de Uso Racional de Energía y su Reglamento No. 25584-MINAE-H-MP por considerar algunas de las fuentes de emisiones como fuentes de energía a su vez.

- **Acciones a tomar**

El establecimiento de límites en las emisiones de calderas industriales a base de carbón debe ser realizado como una reforma al Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto, específicamente para los usos de carbón mineral.

F. Convenio de Minamata, artículo 9: Liberaciones

El propósito del artículo 9 es reducir las liberaciones del mercurio a suelos y aguas procedentes de fuentes que no abordan otras disposiciones del Convenio.

Artículo 9, incisos 3 y 4: Liberaciones de mercurio

Artículo 9, inciso 3:	*Cada Parte determinará las categorías pertinentes de fuentes puntuales a más tardar tres años después de la entrada en vigor para ella del Convenio y periódicamente a partir de entonces.*

- **Definición y alcance del artículo**

Según el artículo 9, cada parte debe identificar las fuentes puntuales significativas de liberaciones de mercurio al suelo y al agua no consideradas en otras disposiciones del Convenio. Para este análisis es importante tomar en cuenta que el artículo 9 no una lista de fuentes, como sí se establece en el artículo 8 del Convenio, de modo que las fuentes controladas por el artículo 9 pueden variar de un país a otro. Los

[32] https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/3bd3a78047cdebee904df9f079241ace/PEG2014+rev+jun2014.pdf?MOD=AJPERES

[33] http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Costa%20Rica/1/INDC%20Costa%20Rica%20Version%202%200%20final%20ES.pdf

[34] Reglamento Sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto, Decreto Ejecutivo No. 36551, Publicado en la Gaceta el 20 de julio de 2011

lugares con minería artesanal y las instalaciones contempladas en el artículo 11 son ejemplos de fuentes de liberaciones que pueden ser consideradas.

- **Normativa nacional concordante según suelos/agua**
  - **Suelos**

Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos, Decreto 29375, Art 13.	*El MAG es el organismo rector en: a- definir y establecer políticas de uso y manejo de suelos y aprobar el Plan Nacional de Uso, Manejo y Conservación de Suelos utilizados en la actividad agraria, b- dimensionar el cumplimiento de los planes de manejo según el área de la finca agraria, el nivel socioeconómico del productor, asistencia técnica y tecnología disponible y el plan de manejo por área donde se encuentre la finca.*
Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos, Ley No. 7779, Art 28	Art 5. El Ministerio de Agricultura y Ganadería, en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Energía(*), será el encargado del cumplimiento de las disposiciones de esta ley en materia de manejo, conservación y recuperación de suelos Art 28. El Ministerio de Salud, en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Energía (*) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería, dictará las disposiciones técnicas a las que deberán sujetarse todas las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, cuyas actividades puedan causar contaminación de los suelos. Para cumplir con las disposiciones de este capítulo, se autoriza a los ministerios mencionados, para incluir, en sus presupuestos ordinarios, las partidas necesarias para realizar, por sí mismos o por medio de contratación de servicios, las acciones que se les encargan en este mismo capítulo.
Reglamento sobre Valores Guía en Suelos para descontaminación de Sitios Afectados por Emergencias Ambientales y Derrames. Decreto Ejecutivo No. 37757, Art 6.	Artículo 6º-Valores de intervención y valores de prevención. Los valores de intervención y los valores de prevención establecidos en el presente reglamento se considerarán como guía para clasificar las zonas que sobrepasen dichos valores. Las concentraciones máximas permisibles o tolerables en un ambiente determinado pueden ser superiores a dichos valores guía, si se determina, mediante un debido análisis de riesgo, que no hay riesgo para los receptores ambientales o humanos.

  - Aguas

Reglamento para la calidad del agua potable, No. 38924-S, Art, 6	La vigilancia para la calidad del agua potable le corresponde al Ministerio de Salud.
Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, Decreto No. 33601, Art. 5	Obligación de confeccionar reportes operacionales. Todo ente generador estará en la obligación de confeccionar reportes operacionales que deberá presentar periódicamente ante la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud, cuando el efluente es vertido a un cuerpo receptor o alcantarillado sanitario o reusado.
Código de Minería Ley No. 6797. Reforma al Código de Minería. Ley No 8904, Artículo 106-	El análisis del impacto ambiental de la actividad minera incluirá, como mínimo, los siguientes aspectos: a) Efectos sobre la vegetación y áreas que se verán deforestadas por la actividad. b) Efectos sobre los suelos, y programas de control de erosión. c) Efectos sobre la calidad del agua, y programas de control de contaminación.

  - **Análisis de vacíos**

La legislación nacional previamente citada y los artículos del 64 al 69 de la Ley Orgánica del Ambiente[35], conforman el marco legal específico para el establecimiento de la prevención por contaminación

35 Idem. Cita supra No. 5

de suelo y agua. Puntualmente, la legislación establece en el caso de suelos, la competencia sobre el Ministerio de Agricultura en la planificación del uso de suelo con el fin de evitar la contaminación de este, pero específicamente referido a la prevención por agroquímicos, dejando de lado cualquier otra fuente de contaminación. Dicha competencia específica del MAG se encuentra establecida en el Reglamento a la Ley de Uso y Conservación de Suelos. Sin embargo, la Ley 7779 es más amplia en el establecimiento de las competencias y comprende los tres Ministerios, MAG-MINSA-MINAE, lo cual por jerarquía legal, deben ser estos tres entes quienes emitan las medidas necesarias para la conservación de los suelos.

Por otra parte, en el establecimiento de fuentes puntuales de aguas, tanto el Reglamento de Calidad de Agua Potable[36] como el Reglamento para vertido y reuso de aguas residuales[37] establecen como ente competente el Ministerio de Salud en la elaboración de los análisis de calidad de agua potable, así como en los reportes operacionales de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La importancia de ambos reglamentos con competencia en un mismo ente debería permitirle a dicho ministerio el establecimiento de fuentes puntuales con liberaciones de mercurio. En adición a esto, el MINSA es el encargado del otorgamiento de permisos de funcionamiento con base en el Reglamento General, motivo por el cual puede clasificarse o categorizarse cualquier fuente con base en éste Reglamento.

Finalmente, en el caso de la minería artesanal con la utilización de mercurio, la competencia de la DGM según el artículo 106 del Código de Minería[38] es clara pero además, es la fuente puntual de mayor importancia. De acuerdo al análisis de cada norma en materia de aguas y suelos, no se desprende de la normativa nacional fuentes puntuales mediante lista taxativa en ninguno de los reglamentos

- **Competencias**

La Ley de Uso y Conservación de los Suelos otorga competencias a los tres Ministerios, MAG.MINAE-MINSA para establecer las fuentes puntuales de liberaciones al suelo. En el caso de liberaciones al agua, el ente rector es el MINSA pero el MINAE tiene competencias también en la prevención de la contaminación.

- **Acciones a tomar**

La determinación de las fuentes puntuales que requiere el Convenio de Minamata, es competencia de las tres instituciones, MINAE-MAG-MINSA en concordancia con el marco legal nacional. Es importante resaltar que todo el artículo 9 procura que se identifiquen las fuentes que no abordan otras disposiciones del Convenio de Minamata. El mecanismo más sencillo para establecer dichas fuentes en el marco legal nacional, en cumplimiento de las estipulaciones del Convenio, es listar en un Decreto Ejecutivo nuevo las fuentes puntuales de liberaciones al suelo y agua.

G. Convenio de Minamata, artículo 10: Almacenamiento provisional ambientalmente racional de mercurio, distinto del mercurio de desecho.

El manejo adecuado del mercurio como producto es considerado en este artículo como almacenamiento temporal del mercurio y de sus compuestos. El ámbito de este artículo está limitado al almacenamiento provisional o temporal porque se trata de un almacenamiento asociado a un uso permitido por el Convenio. La gestión ambientalmente racional de los desechos de mercurio y de desechos de compuestos de mercurio está contemplada en el artículo 11.

[36] Reglamento para la calidad del agua potable, Decreto Ejecutivo No. 38924-S.

[37] Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, Decreto No. 33601

[38] Idem, supra cita No. 28

Artículo 10, inciso 2: Almacenamiento provisional ambientalmente racional

Artículo 10, inciso 2	*2. Cada Parte adoptará medidas para velar por que el almacenamiento provisional de mercurio y de compuestos de mercurio destinados a un uso permitido a una Parte en virtud del presente Convenio se lleve a cabo de manera ambientalmente racional, teniendo en cuenta toda directriz y de acuerdo con todo requisito que se apruebe con arreglo al párrafo 3.*

- **Definición y alcance del artículo**

En el análisis general de este artículo del Convenio, un aspecto importante de resaltar, es que el Convenio no define el "almacenamiento provisional ambientalmente racional" ni tampoco establece los límites de cantidad, período máximo para el almacenamiento, prácticas o técnicas para un adecuado almacenamiento y el transporte.

El término compuestos de mercurio está definido con mucha precisión en el Convenio e incluye solamente los seis compuestos del artículo 3, inciso1b).

- **Normativa nacional concordante**

Decreto Ejecutivo No. 28930-S Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos, artículo 2	*Art 2. Definiciones. Para los efectos del presente Decreto se entenderá por:* *Manejo: la fabricación, importación, almacenamiento, distribución. suministro venta, uso. manipulación o transporte.* *Almacenamiento: la acción de almacenar, consonar, guardar, depositar o reunir en bodegas, almacenes, aduanas o cualquier otro edificio o lugar.* *Art 3. Cumplimiento obligatorio de las instrucciones para el almacenamiento contenidas en las hojas de seguridad y etiquetas. Todo aquel que almacene productos peligrosos, en cualquier etapa o lugar, debe seguir las instrucciones para el almacenamiento contenidas en las etiquetas de los productos y en las hojas de seguridad respectivas. Además deberá considerarse en el almacenamiento de productos peligrosos, los criterios de incompatibilidad.*
Decreto Ejecutivo No. 28113-S, Reglamento para el Registro de Productos Peligrosos	*Definiciones. Producto peligroso: Todo producto, sustancia u objeto de carácter tóxico, combustible, comburente, inflamable, radioactivo, infeccioso, irritante, corrosivo, según criterios consignados en el anexo 1, u otro declarado como tal por el Ministerio*

- **Análisis de vacíos**

El Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos[39] establece que para el almacenamiento de estos productos, en cualquier etapa o lugar, se deben seguir las instrucciones contenidas en las etiquetas de productos y en las hojas de seguridad respectivas, considerándose siempre los criterios de incompatibilidad. Sumado a dicha norma, el Reglamento para el Registro de Productos Peligrosos[40] indica que solo es permitido el manejo de los productos peligrosos registrados ante el Ministerio de Salud, siempre y cuando se cuente con el permiso de funcionamiento vigente. Finalmente, para llevar a cabo el almacenamiento, es indispensable el cumplimiento del Reglamento para el Transporte Terrestre de Productos Peligrosos[41]. Esta normativa nacional no incluye medidas específicas relativas al tiempo aproximado de almacenamiento y el traslado de productos decomisados para el caso de la Dirección General de Aduanas, dejando como vacío legal que dicho almacenamiento pueda llevarse a cabo por un período indefinido.

[39] Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos, Decreto Ejecutivo No. 28930-S.

[40] Reglamento para el Registro de Productos Peligrosos, Decreto Ejecutivo No. 28113-S.

[41] Reglamento para el Transporte Terrestre de Productos Peligrosos Decreto Ejecutivo No. 24715-MOPT-MEIC-S.

Otro aspecto importante se encuentra en el vacío que deja el mismo Convenio, relativo a los productos con mercurio añadido, los cuales no entran en las esferas contempladas por el Convenio y sujetos a las medidas de almacenamiento provisional. El artículo 10 del Convenio, como ya se ha mencionado, comprende únicamente mercurio y compuestos de mercurio.

En lo referente al mercurio que sea almacenado en aduanas nacionales, debe seguirse la legislación específica de la materia; sin embargo, el decomiso de cualquier embarque por aduanas sin que este sea reclamado por el importador, implica el almacenamiento prolongado o sin término en la mayor parte de los casos de las mercaderías decomisadas al amparo de la Ley General de Aduanas[42]. Bajo esta misma ley, la Dirección de Aduanas tiene potestades para el remate o destrucción de las mercaderías, elementos que no aplican en caso del decomiso del mercurio y no se tiene una guía o protocolo para el traslado o almacenamiento de estos productos.

- **Competencias**

El marco legal nacional establece que es competencia del Ministerio de Salud las regulaciones sobre el manejo de productos peligrosos. Adicionalmente, la Dirección General de Aduanas a través del artículo 9 de la Ley General de Aduanas[43] tiene competencia para verificar que el almacenamiento provisional del mercurio se lleva a cabo en concordancia con la normativa nacional establecida.

- **Acciones** a tomar

Debe adicionarse un artículo 3 bis al Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos[44], en el cual se establezca un tiempo límite para el almacenamiento de mercurio.

H. Convenio de Minamata, artículo 11 de Desechos de Mercurio

La disposición del artículo 11 del Convenio para desechos de mercurio, puede adoptar varias formas dependiendo de la fuente del mercurio. Pueden generarse desechos de mercurio durante el proceso de fabricación, en lodos y catalizadores gastados, en productos con mercurio añadido, cuando llegan al final de su vida útil, por la limpieza de sitios contaminados, etc. El artículo 11 del Convenio de Minamata es complementado por las estipulaciones del preámbulo 10 del Convenio de Basilea que procura prevenir la gestión inadecuada a nivel local, así como el trasiego de desechos de mercurio.

Los desechos de mercurio son definidos como sustancias u objetos que consten, contenga o estén contaminados con mercurio o compuestos de mercurio, en una proporción que exceda los umbrales pertinentes a cuya eliminación:

- Se procede
- Se propone proceder
- Se está obligado a proceder en virtud de la legislación nacional o el Convenio (Art. 11.2)

El término "los umbrales pertinentes" de los desechos de mercurio que se establece en el artículo 11 inciso 2 del Convenio, serán definidos por la COP en conjunto con el Convenio de Basilea. Otro aspecto importante es la palabra "eliminación" que no es descrita por el Convenio de Minamata y que es definida en el Convenio de Basilea para lo cual debe referirse a este otro Convenio.

[42] Ley General de Aduanas, Ley No. 7557.

[43] Idem

[44] IDEM, Supra cita no. 39.

Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, Artículo 2 Inciso 4	*4. Por "eliminación" se entiende cualquiera de las operaciones especificadas en el Anexo IV del presente Convenio*

Artículo 11, inciso 3: Desecho de mercurio

Artículo 11, inciso 3	*Cada Parte adoptará las medidas apropiadas para que los desechos de mercurio:* *a) Sean gestionados, de manera ambientalmente racional, teniendo en cuenta las directrices elaboradas en el marco del Convenio de Basilea y de conformidad con los requisitos que la Conferencia de las Partes aprobará en un anexo adicional, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 27. En la elaboración de los requisitos, la Conferencia de las Partes tendrá en cuenta los reglamentos y programas de las Partes en materia de gestión de desechos;* *b) Sean recuperados, reciclados, regenerados o reutilizados directamente solo para un uso permitido a la Parte en virtud del presente Convenio o para la eliminación ambientalmente racional con arreglo al párrafo 3 a);* *c) En el caso de las Partes en el Convenio de Basilea, no sean transportados a través de fronteras internacionales salvo con fines de su eliminación ambientalmente racional, de conformidad con las disposiciones del presente artículo y con dicho Convenio. En circunstancias en las que las disposiciones del Convenio de Basilea no se apliquen al transporte a través de fronteras internacionales, las Partes permitirán ese transporte únicamente después de haber tomado en cuenta los reglamentos, normas y directrices internacionales pertinentes*

- **Definición y alcance del artículo**

El artículo 11 del Convenio de Minamata exige que la COP desarrolle requisitos adicionales para la gestión ambientalmente racional de desechos. Estos requisitos se adoptarán como anexo adicional al Convenio cuando sean finalizados. La única indicación que da el artículo 11 para elaborar y ejecutarlos es que la COP tenga en cuenta los reglamentos y programas de las partes en materia de gestión de desechos. La comprobación que los desechos de mercurio no sean transportados a través de fronteras internacionales, salvo con fines de su eliminación ambientalmente racional se establece de conformidad con las disposiciones del artículo 11 y con las disposiciones del Convenio de Basilea, salvo si estas no son aplicables (artículo 11, inciso 3 c). La situación contemplada por esta disposición es cuando NI el exportador NI el importador son partes del Convenio de Basilea, pero al menos un país es una parte del Convenio de Minamata; sin embargo, la probabilidad de que el Convenio de Basilea sea inaplicable es muy escasa. En la actualidad, la mayoría de las exportaciones de desechos de mercurio se produce entre partes del Convenio de Basilea y en el supuesto de que un país no sea parte del Convenio de Basilea, se aplicaría el artículo 11 del Convenio de Basilea.

En el caso que este Convenio no sea aplicable al transporte a través de fronteras internacionales, una parte del Convenio podrá autorizar dicho transporte solo si cumple las normas, los reglamentos y las directrices internacionales pertinentes (artículo 11, inciso 3 c, Convenio de Minamata).

- **Normativa nacional concordante**

- Ley Orgánica del Ambiente, Ley No. 7554, Art. 102	*Artículo 102.- Contralor del Ambiente. Se crea el cargo de Contralor del Ambiente, adscrito al despacho del Ministro del Ambiente y Energía, quien lo nombrará. Su tarea será vigilar la aplicación correcta de los objetivos de esta ley y de las que, por su naturaleza, le correspondan. Estará obligado a denunciar cualquier violación de esta ley y las conexas, ante la Procuraduría Ambiental y de la Zona marítimo terrestre, así como ante el Ministerio Público*

- Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales, Decreto No. 27001-MINAE	*Comprende en su anexo 2 los Residuos conteniendo mercurio de procesos electrolíticos y Catalizador gastado de cloruro de mercurio*
- Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos, Decreto Ejecutivo No. 37788-S-MINAE.	*Comprende en su anexo 1 el mercurio bajo la lista de residuos peligrosos que deben manejarse conforme a este reglamento así como:* *Residuos conteniendo mercurio en los procesos electrolíticos, Baterías con mercurio, Baterías de desecho y residuos de los hornos de producción de baterías de mercurio, Lodos con contenido de mercurio.*
Ley de Gestión Integral de Residuos, Ley No. 8839, Art. 35 y 43	*ARTÍCULO 31.- Viabilidad ambiental: Todas las actividades, las obras o los proyectos nuevos que procesen, almacenen, recuperen, traten, eliminen y dispongan residuos ordinarios y peligrosos deberán cumplir el trámite de evaluación de impacto ambiental, previo a la obtención de los permisos o las licencias de construcción u operación. Los procedimientos vigentes de evaluación de impacto ambiental establecerán la forma en que se realizará el trámite. Los permisos o las licencias se tramitarán de conformidad con el procedimiento establecido en el reglamento respectivo* *ARTÍCULO 34.- Prohibición para la importación y el movimiento transfronterizo: Prohíbese la importación y el movimiento transfronterizo por el territorio nacional de residuos peligrosos, radioactivos y bioinfecciosos. También se considerarán dentro de esta prohibición los productos y sus partes que estén vencidos, dañados y obsoletos, de acuerdo con las autoridades sanitarias de su país de origen, independiente de su presentación, así como aquellos cuyo registro haya sido cancelado en su país de origen o hayan llegado al final de su vida útil.* *ARTÍCULO 43.- Responsabilidad: Las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, que generen residuos peligrosos tienen la responsabilidad por los daños que esos residuos ocasionen a la vida, la salud, el ambiente o los derechos de terceros, durante todo el ciclo de vida de dichos residuos*
Decreto Ejecutivo No. 33104 Art. 4	*Artículo 4º-La autoridad nacional competente y responsable de coordinar las acciones derivadas de la aplicación del Convenio de Basilea será el Ministerio de Salud.*

- **Análisis de vacíos**

Las directrices técnicas del Convenio de Basilea para una gestión ambientalmente racional de desechos peligrosos, no son obligatorias, por lo cual pueden generarse dos situaciones, la COP del Convenio de Minamata adopta directrices como parte de los anexos vinculantes del Convenio o bien se mantienen solamente como guía para el desarrollo normativo nacional.

En vista que el Convenio de Minamata refiere al Convenio de Basilea, debe revisarse los aspectos puntuales que cubre el de Basilea y sus guías técnicas, de manera que pueda determinarse la existencia de vacíos legales en el marco legal nacional.

Específicamente, la legislación nacional incluye en la Ley de Gestión Integral de Residuos, la obligación de registro de los generadores, elemento que consideran las directrices de Basilea indispensable para lograr el control total de los desechos de mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este.

Otro elemento es la existencia del marco legal en el establecimiento de la responsabilidad extendida del productor, elemento que bajo la ratificación del Convenio de Minamata automáticamente adicionaría una fecha límite para la prohibición del uso del mercurio en productos y procesos. Adicionalmente, el marco regulatorio cubre la importación de desechos peligrosos, lo cual comprende la importación de desechos en mercurio elemental y desechos que contienen o estén contaminados por mercurio. Finalmente, se cuenta con legislación que obliga a las plantas de eliminación a obtener la viabilidad ambiental para las operaciones.

- **Competencias**

Las competencias se encuentran distribuidas en los dos ministerios, Ambiente y Salud. La Contraloría Ambiental cuyas competencias se establecieron en el Decreto No. 25802-MINAE y que fueron ampliadas de conformidad con el Reglamento para el Manejo de Residuos Peligrosos Industriales y el Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos Decreto No. 37788-S-MINAE, vela por el registro y salida de residuos peligrosos entre otras funciones. Adicionalmente, el Ministerio de Salud como entidad rectora por la Ley de Gestión Integral de Residuos, Ley No. 8839 y que actúa como punto focal del Convenio de Basilea.

- **Acciones a tomar**

Incorporar la prohibición en la nota técnica, "Autorización para la importación, exportación y tránsito de desechos peligrosos por parte de la Autoridad Nacional Designada del Convenio de Basilea", actualmente se identifica como nota técnica con el código 269, las restricciones para las pilas y acumuladores que hayan sido incorporados en aparatos que contengan más de 0,0005% de mercurio en peso y pilas de botón con un contenido de mercurio superior al 2% por el peso[45] y cualquier otro como lámparas fluorescentes para restricción de importación.

I. Convenio de Minamata, artículo 12, sitios contaminados

Artículo 12, inciso 1	*1. Cada Parte procurará elaborar estrategias adecuadas para identificar y evaluar los sitios contaminados con mercurio o compuestos de mercurio.*

- **Definición y alcance del artículo**

Este artículo 12 procura crear y adoptar medidas en general para identificar y evaluar los sitios contaminados, pero no determina si dicha identificación de sitios son históricos o en uso. Bajo la misma línea de análisis, no comprende la obligación para que una parte inicie el proceso de limpieza de esos sitios. En este sentido, el artículo deja a criterio del Estado la elaboración y ejecución de su propio marco legal y la capacidad financiera y técnica para la remediación de sitios contaminados con mercurio.

- **Normativa nacional concordante**

Ley Orgánica del Ambiente, Ley 7554, Art, 69	*Artículo 69.- Disposición de residuos contaminantes. En el manejo y aprovechamiento de los suelos, debe controlarse la disposición de los residuos que constituyan fuente de contaminación. Las actividades productivas evitarán descargas, depósitos o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en el suelo. Cuando no se pueda evitar la disposición de residuos contaminantes deberán acatarse las medidas correctivas necesarias que determine la autoridad competente. Cuando corresponda, el Estado, las municipalidades y la empresa privada promoverán la recuperación y el tratamiento adecuado de los desechos para obtener otros productos o subproductos.*

[45] Dichos porcentajes son los establecidos por la Directiva 2002/95/EC del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, conocida también como "Directiva RoHS".

Ley para la Gestión Integral de Residuos, Ley No. 8839 Arts 45 y 46	*ARTÍCULO 46.- Remediación: En caso de detectarse suelos contaminados, el Ministerio de Salud deberá emitir la declaración de suelo contaminado y ejercer las acciones necesarias porque quien resulte responsable de la contaminación deberá proceder a su limpieza y recuperación, de acuerdo con los lineamientos generales que se establecerán vía reglamento y con un plan de remediación, previamente aprobado por dicho Ministerio. En caso de que no sea posible identificar al responsable de la contaminación de un sitio por el manejo inadecuado de residuos, el Ministerio de Salud, en coordinación con la municipalidad respectiva y cualquier otra autoridad que consideren conveniente, llevarán a cabo las acciones necesarias para su remediación cuando existan riesgos inminentes para la salud y el ambiente.*
Reglamento sobre Valores Guía en Suelos para descontaminación de Sitios Afectados por Emergencias Ambientales y Derrames. Decreto Ejecutivo No. 37757, Art 8.8.2	*Zonas Contaminadas. En caso de sobrepasarse los valores de intervención, o aquellos determinados por el análisis de riesgo, la zona será clasificada por el Ministerio de Salud, como zona contaminada. Asimismo deberá ordenar las medidas que considere pertinente para proteger la salud y el ambiente previa consulta al Ministerio de Ambiente y Energía, comunicándolo al TAA para lo que corresponda.*

- **Análisis de vacíos**

La legislación actual contempla los mecanismos para la remediación de suelos por parte del Ministerio de Salud y las Municipalidades y por parte de los generadores, pero deja de lado los mecanismos financieros para realizar la limpieza de sitios contaminados por mercurio en los casos que el generador sea desconocido.

- **Competencias**

La entidad competente en esta materia es el Ministerio de Salud, la cual debe actuar a solicitud del MINAE y sus dependencias DGM-DIGECA.

- **Acciones a tomar**

A nivel normativo el país cuenta con legislación para realizar los inventarios de sitios contaminados y evaluar dichos sitios según lo solicita el Convenio. En el caso del mecanismo financiero faltante en la legislación actual nacional para limpieza de sitios no es una medida requerida por el Convenio pero debe ser abordada por los tres ministerios competentes por otras posibles fuentes contaminantes pero que no son objeto del Convenio de Minamata.



II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis normativo nacional vis a vis el Convenio, plantea grandes retos para lograr el establecimiento de restricciones y prohibiciones del mercurio, compuestos de mercurio y productos con mercurio añadido, específicamente, el Ministerio de Ambiente y Energía, al que por tener el punto focal del Convenio de Minamata le corresponde atender los siguientes desafíos:

- Existe un reto de coordinación institucional, a nivel gubernamental el MINAE-MINSA son las principales instituciones involucradas en el tema de mercurio y el papel que puede jugar la Secretaría Técnica para la Gestión de Sustancias Químicas, como espacio de coordinación interinstitucional e intersectorial, así como plataforma para las sinergias de los Convenios de Basilea y el de Minamata, es esencial para cumplir los objetivos del Convenio de Minamata.
- Se presenta un desafío en las modificaciones y nuevas propuestas normativas, el análisis apunta que los esfuerzos deben ampliarse para cubrir obligaciones impuestas por el Convenio que en la actualidad el marco normativo no contempla. En Costa Rica existe legislación sobre mercurio en las diferentes etapas de su ciclo, pero la mayor parte apunta a la legislación sobre residuos y no el manejo del mercurio como producto.
- En el caso de las reformas propuestas a reglamentos vigentes o por medio de un nuevo decreto ejecutivo, se precisa un trabajo de articulación entre el Ministerio de Salud y el Ministerio de Ambiente y también con los sectores por regular, de forma que estos puedan implementarse adecuadamente.

Específicamente algunas conclusiones que se extraen del análisis son las siguientes:

(a) Competencias

- Los resultados del estudio normativo arrojan que el Ministerio de Salud y el Ministerio de Ambiente comparten competencias en el 90% del Convenio. Con excepción del artículo 3 del Convenio de Minamata, donde la competencia recae en la Dirección de Geología y Minas y en la Dirección para la Gestión de Calidad Ambiental, competencias por tanto del MINAE; el resto de los artículos del Convenio se tiene una responsabilidad compartida en el establecimiento de nuevos mecanismo legales de prohibiciones o restricciones así como reformas a la legislación vigente.
- En el caso del Ministerio de Agricultura y Ganadería existen competencias en el área de productos con mercurio añadido como plaguicidas y biocidas, en los cuales la prohibición de importación y manufactura ya se encuentra establecida, por lo que la única competencia remanente bajo el análisis normativo se tiene en las liberaciones de mercurio al suelo que es el artículo 9 del Convenio. Bajo una interpretación estricta de dicha competencia otorgada por la Ley de Uso y Conservación de Suelos como su reglamento, los cuales fueron cubiertos previamente en el análisis del artículo 9, el MAG le compete aquellos casos por liberaciones con el uso de plaguicidas conteniendo mercurio, de lo cual se infiere, que al no tenerse fabricación o importación de plaguicidas con mercurio, el MAG no posee mayor rol reformas normativas necesarias en cumplimiento del Convenio.

(b) Vacíos

- El análisis normativo muestra que puede reformarse la legislación existente y adicionarse en muchos reglamentos para cubrir los vacíos existentes, especialmente el Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos, en lo que refiere a las fases de exportación, importación y almacenamiento, que particularmente son los vacíos principales y se genera como una debilidad para el cumplimiento del Convenio.
- Por otra parte un nuevo Decreto Ejecutivo se ve necesario para situaciones que surgen del Convenio en forma específica, tales como el establecimiento de las fuentes puntuales de liberaciones de agua y suelo a ser identificadas, la comercialización resultante de productos con mercurio añadido que les han sido prohibidos la importación y manufactura, pero sobre todo que el decreto permita la modificación en orden de toda la normativa que se ha identificado en el presente análisis.

(c) Sobre acciones tomar

- Presentarse al Ministerio de Salud un listado de la normativa por reformar en este Ministerio es el único ente competente.
- Analizarse en conjunto con el Ministerio de Salud si la reforma al Reglamento de Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento es el mecanismo idóneo desde un punto de vista interno institucional de dicho Ministerio, para establecer las restricciones de establecimiento de plantas, instalaciones o procesos de producción con mercurio o compuestos.
- Elaborar un Decreto Ejecutivo nuevo que subsane la normativa faltante, reforme en la existente y adicione en la normativa existente para la eliminación del mercurio en la forma progresiva que establece el espíritu del Convenio.



III. ANEXO I RESUMEN DE ANÁLISIS LEGAL

Artículo y párrafo de la Convención MIA	Impacto de la medida de MIA	Regulación nacional que comprenda la medida (obligación)	Fundamento legal Institución competente	Vacío o debilidad	Acción legal propuesta
3 (3)	Restricción de extracción primaria de mercurio	MINAE-DGM	Código de Minería, Ley No. 6797 y sus reformas, art. 3.	No existe vacío	No
3(4)	Eliminación de minería de mercurio primario existente	MINAE-DGM	Código de Minería, Ley No. 6797 y sus reformas, art. 3.	No existe vacío	No
3(5)(a)	Inventarios de mercurio	MINAE-DGM	Código de Minería, Ley No. 6797 y sus reformas, art. 3.	No existe vacío	No
3(5)(b)	Desmantelamiento de plantas Cloro-Alcalí	MINAE-DIGECA-MINSA-DPAH	Ley General de Salud, art. 239 y Decreto Ejecutivo 34510, Reglamento Orgánico del Ministerio de Salud, Artículo 32 bis.-	Si existe el vacío La debilidad es la no restricción de establecimiento de una planta cloro-alcalí en el país	Incorporado a un Decreto nuevo
3(6)	Restricciones a exportación de mercurio	MH-DGA MINAE-DGM	- Ley General de Aduanas, Ley No. 7557, art. 24, inciso q. -Código de Minería, Ley No. 6797 y sus reformas, art. 3. - Reglamento al Código de Minería No. 29300-MINAE, art. 2 inciso c, art. 3, inciso 4	Si existe el vacío La legislación no comprende el término exportación en el manejo de productos peligrosos	Adición al Decreto sobre Manejo de Productos Peligrosos No. 28930-S

Artículo y párrafo de la Convención MIA	Impacto de la medida de MIA	Regulación nacional que comprenda la medida (obligación)	Fundamento legal Institución competente	Vacío o debilidad	Acción legal propuesta
3(8)	Restricciones a la importación de mercurio	MH-DGA MINAE-DGM	- Ley General de Aduanas, Ley No. 7557, art. 24, inciso q. -Código de Minería, Ley No. 6797 y sus reformas, art. 3. - Reglamento al Código de Minería No. 29300-MINAE, art. 2 incisos c, art. 3, inciso 4	Si existe el vacío El término importación está comprendido en la legislación pero no se prohíbe la importación de mercurio en el país.	-Adición al Decreto sobre Manejo de Productos Peligrosos No. 28930-S -Incorporación en un nuevo decreto que lo restrinja
4(1)	Prohibición de manufactura, importación, exportación de productos con mercurio añadido				
Anexo A, parte I	Baterías con ciertas excepciones	MH-DGA MINSA-DPAH	- Ley General de Aduanas, Ley No. 7557, art. 24, inciso q. -Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 252 y Decreto Ejecutivo No. 28930-S Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos - Reglamento para el Manejo de Residuos Especiales, Decreto Ejecutivo No. 38272-S	Si existe el vacío	Incorporación a la nota técnica 269
Anexo A, parte I	Switches y relays	MINAE-DIGECA		Si existe el vacío	- Incorporación en una nota técnica -Prohibición vía Decreto
Anexo A, parte I	Lámparas fluorescentes compactas (CFL) para usos generales de iluminación	MINAE-DIGECA	Reglamento para la Regulación del Uso Racional de la Energía. Decreto Ejecutivo No. 25584 MINAE-H-MP Tabla 6 del Reglamento.	Si existe el vacío	- Incorporación en una nota técnica
Anexo A, parte I	Lámparas fluorescentes lineales (LFL) para usos generales de iluminación	MINAE-DIGECA-DSE		Si existe el vacío	-Prohibición vía decreto - Incorporación en una nota técnica

Artículo y párrafo de la Convención MIA	Impacto de la medida de MIA	Regulación nacional que comprenda la medida (obligación)	Fundamento legal Institución competente	Vacío o debilidad	Acción legal propuesta
Anexo A, parte I	Lámparas de vapor de mercurio a alta presión (HPMV) para usos generales de iluminación	MINAE-DIGECA-DSE		Si existe el vacío	- Incorporación en una nota técnica
Anexo A, parte I	Mercurio en lámparas fluorescentes de cátodo frío y lámparas fluorescentes de electrodo externo (CCFL y EEFL) para pantallas electrónicas	MINAE-DIGECA-DSE		Si existe el vacío	-Prohibición vía decreto
Anexo A, parte I	Plaguicidas y biocidas	MAG-SFE	- Ley de Protección Fitosanitaria, Ley No. 7664, art. 5, y Decreto Ejecutivo No. 33104, art. 6	No existe el vacío	No
Anexo A, parte I	Cosméticos con especificaciones	MINSA-DPAH	- Ley General de Aduanas, Ley No. 7557, art. 24 inciso q. -Ley General de Salud, si existe el vacío Ley No. 5395, Artículo 252 y Decreto Ejecutivo No. 28930-S Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos	Si existe el vacío	- Incorporación en una nota técnica -Prohibición vía Decreto
Anexo A, parte I	Los siguientes aparatos no electrónicos a) barómetros, b) higrómetros, c) manómetros, d) termómetros, e) esfigmomanómetros.	MINSA-DPAH	- Ley General de Aduanas, Ley No. 7557, art. 24, inciso q. -Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 252 y Decreto Ejecutivo No. 28930-S Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos.	Si existe el vacío	- Incorporación en una Nota Técnica -Prohibición vía Decreto
4(3)	Eliminación de la amalgama dental por medio de dos o más medidas listadas en la parte II del anexo A.	MINSA-DPAH	-Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 2, 70, 343	Si existe el vacío	-Restricción vía nuevo Decreto de cualquiera de los métodos establecidos en el anexo A, parte II

Artículo y párrafo de la Convención MIA	Impacto de la medida de MIA	Regulación nacional que comprenda la medida (obligación)	Fundamento legal Institución competente	Vacío o debilidad	Acción legal propuesta
4(5)	Prevención en la incorporación de productos con mercurio añadido en productos ensamblados	MINAE-DIGECA MINSA	-Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 240	Si existe el vacío	Prohibición vía decreto nuevo
4(6)	Obligación de desalentar la producción y distribución de nuevos productos	MINAE-DIGECA MINSA-DPAH	- Ley Orgánica del Ambiente, Ley No. 7554, arts. 60,64,68 -Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 296.	Si existe el vacío	Introducción de restricciones vía nuevo decreto
5(2)	Prohibición del uso del mercurios en los procesos enlistados en la parte 1 del anexo B.	MINAE-DIGECA MINSA	-Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 240	Si existe el vacío	Introducción de restricción vía decreto
5(3)	Obligación de restringir el uso de mercurio en los procesos enlistados en la parte II del anexo B	MINAE-DIGECA MINSA	-Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 240	Si existe el vacío	Modificación de Decreto 31849-MINAE-SALUD-MOPT-MAG-MEIC Modificación de Decreto 35145-S
5(5)	Obligación de adoptar medidas para impedir el uso en productos ensamblados de los PMA.	MINAE-DIGECA MINSA	-Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 240	Si existe el vacío	Prohibición vía nuevo decreto
5(6)	Prohibición del uso de mercurio en nuevas instalaciones	MINAE-DIGECA MINSA-DPAH	- Ley Orgánica del Ambiente, Ley No. 7554, arts. 60,64,68 -Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 297.	Si existe el vacío	Prohibición vía nuevo decreto
5(7)	Desincentivar el desarrollo de nuevas instalaciones que utilicen cualquier otro proceso de fabricación a base de mercurio	MINAE-DIGECA MINSA-DPAH	- Ley Orgánica del Ambiente, Ley No. 7554, arts. 60,64,68 -Ley General de Salud, Ley No. 5395, artículo 296.	Si hay vacío	Introducirse las restricciones vía decreto

Artículo y párrafo de la Convención MIA	Impacto de la medida de MIA	Regulación nacional que comprenda la medida (obligación)	Fundamento legal Institución competente	Vacío o debilidad	Acción legal propuesta
7(2)	Reducir y eliminar emisiones de extracción de oro artesanal y minería de oro a pequeña escala.	MNAE-DGM-DIGECA MINSA-DPAH	Código de Minería, Transitorio I y Reforma 8904 Transitorio VII y Reglamento de la Actividad Minera Artesanal y en Pequeña Escala para subsistencia familiar por parte de cooperativas mineras, Decreto Ejecutivo No. 37225-MINAET, art. 12. Reforma al Código de Minería, 8904 Transitorio VII y Decreto Ejecutivo No. 33104, Art. 1 y 3	No existe vacío	No
7(3)	Determinar la significancia de la minería a pequeña escala. Si es aplicable, implementar un plan de acción nacional.	MNAE-DGM-DIGECA MINSA-DPAH	Código de Minería, Transitorio I y Reforma 8904 Transitorio VII y Reglamento de la Actividad Minera Artesanal y en Pequeña Escala para subsistencia familiar por parte de cooperativas mineras, Decreto Ejecutivo No. 37225-MINAET, art. 12. Reforma al Código de Minería, 8904 Transitorio VII y Decreto Ejecutivo No. 33104, arts. 1 y 3	No	No
8(3)	Medida: Requerir las mejores técnicas y mejores prácticas ambientales disponibles o asociadas con los valores límites para nuevas fuentes listadas en el anexo D				

Artículo y párrafo de la Convención MIA	Impacto de la medida de MIA	Regulación nacional que comprenda la medida (obligación)	Fundamento legal Institución competente	Vacío o debilidad	Acción legal propuesta
	Centrales eléctricas de carbón	MINAE-DSE	- Ley de Uso Racional de Energía, Ley No. 7447, art. 26 -Reglamento a la Ley 7447, Regulación de Sistemas de Combustión Fijos, Decreto Ejecutivo No. 25584 MINAE-H-MP.[1]	Si hay vacío	Modificación del Decreto 25584-MINAE
	Calderas industriales de carbón	MINAE-DSE	Ley de Uso Racional de Energía, Ley No. 7447, art. 26 -Reglamento a la Ley 7447, Regulación de Sistemas de Combustión Fijos, Decreto Ejecutivo No. 25584 MINAE-H-MP.	Si hay vacío	Modificación del Decreto 25584-MINAE
	Procesos de fundición y calcinación utilizados en la producción de materiales no ferrosos	MINSA	- Reglamento Sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto, Decreto Ejecutivo No. 36551, art. 2. -Reglamento sobre límites de emisiones al aire para hornos de fundición de vidrio. Decreto Ejecutivo No. 38237-S, art. 9	Si hay vacío	No
	Plantas de incineración de desechos	MINSA-MINAE Consejo Técnico de Normas de Emisión e Inmisión.	Reglamento sobre condiciones de operación y control de emisiones de instalaciones para coincineración de residuos sólidos ordinarios, Decreto Ejecutivo No. 39136-S-MINAE, art. 6.	Si hay vacío	No

Artículo y párrafo de la Convención MIA	Impacto de la medida de MIA	Regulación nacional que comprenda la medida (obligación)	Fundamento legal Institución competente	Vacío o debilidad	Acción legal propuesta
	Fábricas de cemento clinker	MINSA	Reglamento de requisitos, condiciones y controles para la utilización de combustibles alternos en los hornos cementeros. Decreto Ejecutivo No. 31837-S, art. 1.	Si hay vacío	No
9(3)	Identificar las fuentes pertinentes para la liberación a la tierra y el agua	MINAE-DGM	-Código de Minería, Ley No. 6797 y sus reformas, Art 3. - Reglamento al Código de Minería, Decreto 29300-MINAE, art. 1	No hay vacío	Deben identificarse las fuentes
9(4)	Control de liberaciones	MNAE-DGM-DIGECA	-Código de Minería, Ley No. 6797 y sus reformas, Art 3. Reglamento al Código de Minería No. 29300-MINAE, Art. 2 inciso c, Art. 3 inciso 4	No hay vacío	Deben listarse las fuentes puntuales en un nuevo Decreto
10(2)	Almacenamiento de provisional de mercurio	MINSA MINAE-SETENA MH	-Ley General de Salud, art. 239 y Decreto Ejecutivo 34510, Reglamento Orgánico del Ministerio de Salud, artículo 32 bis. - Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos No. 37788-S-MINAE - Reglamento para el Manejo de Productos Peligrosos, No. 28930-S, art. 4 Reglamento para el Transporte Terrestre de Productos Peligrosos, Decreto No. 24715-MOPT-MEIC-S - Ley General de Aduanas, Ley No. 7557, art. 8.	Si hay vacío No se establecen las características o especificaciones en la legislación para el almacenamiento del mercurio	Adicionarse al Decreto sobre el Manejo de Productos Peligrosos y adicionar los PMA.

Artículo y párrafo de la Convención MIA	Impacto de la medida de MIA	Regulación nacional que comprenda la medida (obligación)	Fundamento legal Institución competente	Vacío o debilidad	Acción legal propuesta
11(3)	Desechos de mercurio	MINAE-Contraloría Ambiental MINSA-DPAH	- Ley Orgánica del Ambiente, Ley No. 7554, art.102 - Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales, Decreto No. 27001-MINAE - Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos, Decreto Ejecutivo No. 37788-S-MINAE. - Ley de Gestión Integral de Residuos, Ley No. 8839, arts. 35 y 43 - Decreto Ejecutivo No. 33104 art. 4	No hay vacío. La debilidad se puede encontrar en la adopción de las directrices como anexo al Convenio de Minamata	Incorporación de restricciones en la nota técnica 38, 39, 54, 57 y 269
12(1)	Sitios contaminados	MINAE MINSA-Comité Técnico sobre Gestión de Sitios Contaminados	- Ley Orgánica del Ambiente, Ley No. 7554, Art 55 y 69 - Ley de Gestión Integral de Residuos, Ley No. 8839, Art. 45 - Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados por emergencias ambientales y derrames, Decreto No. 37757-S, arts. 2, 4	No hay vacío	No



Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)
Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA)

Inventario de **Emisiones ToolKit**

COSTA RICA
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

minae

gef

PNUD



CONTENIDO

INVENTARIO N1 5

1. Introducción 7
2. Metodología 8
   - 2.1. Primera etapa. Recolección de la información e incorporación de la misma en la herramienta 8
     - 2.1.1. Identificación de las fuentes de información 9
     - 2.1.2. Establecimiento de los contactos 9
     - 2.1.3. Generalidades de la herramienta del PNUMA 9
   - 2.2. Segunda etapa. Evaluación, sistematización y análisis de la información 10
3. Resultados y discusión 11
   - 3.1. Paso 1. Información del país 11
   - 3.2. Paso 2. Consumo de energía y producción de combustible 11
     - 3.2.1. Consumo de energía 11
     - 3.2.2. Producción de combustible 12
   - 3.3. Paso 3. Producción nacional de metales y materias primas 13
     - 3.3.1. Producción primaria de metales 13
     - 3.3.2. Minería de oro 13
     - 3.3.3. Otros materiales de producción 14
   - 3.4. Paso 4. Producción nacional y procesamiento con el uso intencional de mercurio 15
     - 3.4.1. Producción de sustancias químicas 15
     - 3.4.2. Producción de productos con contenido de mercurio 15
   - 3.5. Paso 5. Manejo de residuos y reciclaje 16
     - 3.5.1. Producción de reciclado de metales 16
     - 3.5.2. Incineración de residuos 16
     - 3.5.3. Deposición de residuos en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales 16

3.6. Paso 6. Consumo general de mercurio em productos, como metal mercurio y como mercurio contenido en sustancias ... 18
3.6.1. Uso y disposición de productos con contenido de mercurio ... 18
3.7. Paso 7. Crematorios y cementerios ... 22
3.8. Paso 8. Fuentes misceláneas ... 23
3.9 Resumen estimación de entradas de mercurio a Costa Rica por fuentes antropogéncias durante el 2014 ... 25
3.10 Resumen de las emisiones de mercurio para el año 2014 en Costa Rica. ... 28
4. Conclusiones y recomendaciones ... 31
5. Bibliografía ... 32

INVENTARIO N2 ... 33

Introducción ... 35
Metodología ... 35
1.1 Fuentes de información ... 36
1.2 Incertidumbre ... 38
2. Análisis de resultados ... 40
2.1 Nivel N1 ... 40
2.2 Nivel N2 ... 46
2.3 Comparación entre los inventarios generados ... 52
2.4 Análisis de incertidumbre ... 56
2.5 Comparación entre inventario nivel N1 (2015) y el inventario N1 (2011) ... 58
3. Conclusiones ... 64
Nomenclatura ... 65
Bibliografía ... 67
Anexo 1 ... 71



INVENTARIO N1



1. INTRODUCCIÓN

El mercurio es un producto químico de preocupación mundial debido a su transporte a larga distancia en la atmósfera, su persistencia en el medio ambiente tras su introducción antropogénica, su capacidad de bioacumulación en los ecosistemas y sus importantes efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente.[1]

La contaminación ambiental es un fenómeno que afecta a todos a nivel mundial, es por esto que la emisión de un contaminante en China por ejemplo, puede llegar hasta Costa Rica en meses o algunos años. La intención de realizar inventarios de contaminantes en este caso, el mercurio, es que cada país conozca sus fuentes de emisión más importantes para ese metal pesado y pueda reducirlas o eliminarlas a niveles no tóxicos para el ambiente o los seres humanos.

Bajo esa premisa, el Programa para las Naciones Unidas y el Medio Ambiente (PNUMA) creó una Herramienta para la Cuantificación de las Emisiones de Mercurio, una versión piloto de esta herramienta fue publicada en el año 2005 y mejorada a con los años hasta llegar a la actual versión 1.2 (2013). La misma tiene como objetivo a poyar a los países en desarrollo y con economías en transición a desarrollar de forma simplificada un inventario de las emisiones de mercurio

Esta herramienta sugiere dos niveles para el desarrollo del inventario, el nivel 1 tiene una metodología simplificada y estandarizada, mientras que el nivel 2 requiere mayor información y detalle para su uso. El principio que aplica la herramienta es el de balance de masa, en el caso del nivel 1 los cálculos se hacen de forma automática y se basan en factores previamente definidos que se aplican a los datos ingresados mediante una hoja de cálculo, según indica el manual, la información disponible para la definición de algunos de los factores de ciertas categorías fue escasa por lo que estos factores tienen asociado una incertidumbre importante.

Es por esto que los resultados del inventario nivel 1 deben considerarse como un primer acercamiento sobre las liberaciones de mercurio que tiene el país, estas podrían estar por arriba o debajo de las liberaciones reales, posteriormente es importante a partir de estos resultados, desarrollar un programa de monitoreo para así refinar los resultados obtenidos. Especialmente se recomienda, que antes de elaborar o implementar alguna regulación o medida para algún sector o actividad productiva se corrobore y refine el inventario de esas emisiones con mayor información en campo e involucrando a los actores relevantes.

1 UNEP. 2013. Convenio de Minamata sobre Mercurio.



2. METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo del Inventario de Emisiones de Mercurio en Costa Rica, se basó en el uso de una herramienta definida en una hoja de cálculo en Excel de Windows, creada por el PNUMA para estimar las emisiones de mercurio (*http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Metals/MercuryPublications/GuidanceTrainingMaterialToolkits/MercuryToolkit/tabid/4566/language/en-US/Default.aspx*), a partir de las actividades desarrolladas por el ser humano, que involucran directa o indirectamente la presencia del mercurio.

De acuerdo con las instrucciones del uso de la herramienta del PNUMA (2013), los cálculos de las liberaciones del mercurio aplicados, se basan en el principio de balance de masa.

El presente estudio se desarrolló en 2 etapas en donde primeramente se realizó la búsqueda de la información requerida por la Herramienta del PNUMA, en segundo lugar se completó la Herramienta con la información recolectada, y se sintetizaron los datos de las entradas y las salidas calculados por la Herramienta.

2.1. Primera etapa. Recolección de la información e incorporación de la misma en la herramienta

Para el desarrollo del Inventario de las Emisiones del Mercurio en Costa Rica se aplicó la metodología definida en el Instrumental para la Identificación y la Cuantificación de las Liberaciones de Mercurio elaborado por el PNUMA. Dicho instrumental contiene una Herramienta que es una hoja de cálculo con valores predefinidos de los aportes y las distribuciones de las emisiones del mercurio anualmente, según la actividad desarrollada por el ser humano.

La herramienta se divide en 8 pasos, entre los cuales del 2 al 7 se cuantificaron las emisiones según su origen (Cuadro I).

Cuadro I. Categorías principales consideradas para el desarrollo del inventario.

Paso	Categoría a estudiar
Paso 1	Información general del país
Paso 2	Consumo de energía y producción de combustible
Paso 3	Producción nacional de metales y materias primas
Paso 4	Producción nacional y procesamiento con el uso intencional de mercurio
Paso 5	Establecimiento general del manejo de residuos en el país
Paso 6	Consumo general de mercurio en productos, como mercurio metálico y como mercurio contenido en sustancias
Paso 7	Crematorios y cementerios
Paso 8	Fuentes misceláneas

Inicialmente, el llenado de la herramienta se realizó haciendo una investigación en donde se evidenció si cada una de las categorías de fuente se encontraban presentes para el caso de Costa Rica durante el 2014.

Posterior a la identificación de la presencia o la ausencia de las fuentes, se procedió a solicitar la información requerida para el llenado de la Herramienta. Esto se logró con la ayuda del DIGECA.

2.1.1. Identificación de las fuentes de información

En la etapa inicial se identificaron las fuentes primarias y las fuentes secundarias para obtener la información. Las fuentes primarias fueron aquellas de donde se obtuvo la información de la forma más completa o sintetizada posible. Las fuentes secundarias de información fueron aquellas que se consultaron al no haber obtenido los datos por medio de las fuentes primarias.

2.1.2. Establecimiento de los contactos

Se definieron los contactos para obtener la información de los materiales ingresados al país durante el año de estudio elegido. Por esto, se generó una lista de contactos para la búsqueda de la información. En el anexo 1 se encuentra la lista de los contactos a los que se les solicitó la información respectiva.

La información se obtuvo por medio de la solicitud emitida por el DIGECA, vía correo electrónico.

2.1.3. Generalidades de la herramienta del PNUMA

La herramienta se encuentra distribuida en pasos, categorías y subcategorías.

El paso 1 de la herramienta es para explicar el contexto del país durante el año de estudio, con respecto a la cantidad de habitantes. El producto interno bruto PIB refleja la actividad económica nacional durante el año de estudio. Para el paso 1 la información se consultó el sitio web del Ministerio de Hacienda.

El paso 2 se refiere al consumo de energía y producción de combustible. Este paso del inventario cubre el uso de los combustibles fósiles y de biomasa para la producción de energía eléctrica y calor.

En el paso 3, las emisiones de mercurio por la producción nacional de metales y materias primas se contemplaron dos grupos de actividades: 1) la minería industrial y el procesamiento primario de los metales y 2) la producción industrial de los materiales de alto volumen como el cemento y la pulpa de papel.

En el paso 4 se consideró la producción nacional y el procesamiento con uso intencional de mercurio, en donde se estimó el aporte del mercurio debido a dos actividades: 1) producción de sustancias químicas y 2) la producción industrial de sustancias que contienen mercurio.

El tratamiento de los residuos y el reciclaje se contemplaron en el paso 5, en donde se incluyeron todos los tipos de tratamiento de los residuos, los rellenos sanitarios, la incineración, el vertido, las quemas a cielo abierto y las actividades de reciclaje. Este paso incluyó tres actividades: 1) producción de reciclado de metales, 2) incineración de residuos y 3) deposición de residuos / relleno sanitario y tratamiento de aguas residuales.

En el paso 6 se estimaron las liberaciones del mercurio por el consumo general de mercurio en productos con contenido de mercurio (lámparas fluorescentes y amalgamas dentales).

En el paso 7 se contempló el aporte a las emisiones de mercurio por los crematorios y los cementerios.

Las fuentes misceláneas no se cuantificaron en esta herramienta.

El año definido como base del desarrollo del "Inventario de Emisiones de Mercurio" fue el 2014.

2.2. Segunda etapa. Evaluación, sistematización y análisis de la información

La información obtenida se sistematizó por medio del instrumento del PNUMA. Se utilizó la Herramienta propuesta por el PNUMA en su última versión 2015.

Los cálculos sobre las liberaciones del mercurio usados en la herramienta están basados en el principio de balance de masa. Todo el mercurio y los compuestos con mercurio que alimentan al sistema con los materiales, entonces saldrán, ya sea como liberaciones al ambiente (al aire, el agua o el suelo) o como algún tipo de productos.

Se procedió al llenado de la herramienta, siguiendo los pasos descritos anteriormente y según la fuente definida. Se cuantificaron las entradas del mercurio provenientes del material que lo contiene (fuente), para generar un valor con la cantidad de mercurio aportada por el material (factor de entrada). El factor de entrada fue determinado basándose en los estudios realizados a los diferentes materiales que contienen mercurio. A partir del resultado del mercurio aportado por el material, se realizó un cálculo para la distribuir las emisiones. Estos cálculos se ejecutaron de manera automática en la herramienta. Las cinco matrices receptoras de la emisión definidas por la herramienta son aire, agua, suelo, subproductos e impurezas y residuos en general.

En el Instrumento se procedió a llenar respectivamente cada casilla según su categoría. En los casos en que la actividad no se realizaba en Costa Rica, no se tomó en la consideración para el cálculo de las emisiones y se llenó con el símbolo “N”, como se indica en las instrucciones del Instrumento. Al terminar con el llenado de la información de la herramienta, se obtuvo un resumen de las emisiones de mercurio, según su fuente de emisión.

El instrumental contiene un formato de presentación sistematizado (aun cuando no fuera o sea posible cuantificar las fuentes), por lo que hubo cálculos que se generaban indirectamente, como por ejemplo, el aporte de la cantidad del mercurio por el uso de las amalgamas, en donde el cálculo se estimó por medio del tamaño de la población.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestra, de acuerdo con los pasos de la herramienta, los resultados obtenidos y su análisis en cada una de las categorías y las subcategorías.

3.1. Paso 1. Información del país

El país de estudio fue Costa Rica y el periodo de estudio seleccionado fue el 2014. Durante este año la población fue de 4.937.755 habitantes y el Producto Interno Bruto fue de 49,5 millones de dólares, según los datos del Banco Mundial. [2]Además, para el 2015, los principales sectores de la economía del país fueron: la fabricación industrial (alta tecnología), todos los sectores relacionados con turismo (comercio, hoteles y restaurantes, entre otros), la agricultura, la silvicultura y la pesca. [3]

3.2. Paso 2. Consumo de energía y producción de combustible

En este paso se contemplaron las entradas y las salidas del mercurio provenientes tanto del consumo de energía como por la producción de los combustibles. El paso 2 incluye dos categorías según la fuente de mercurio, el consumo de energía y la producción de combustible.

3.2.1. Consumo de energía

La categoría de consumo de energía se basa en la combustión de los materiales utilizados como fuentes de energía a nivel nacional. Los datos utilizados para elaborar esta categoría corresponden a la información proporcionada por RECOPE.

La información referente al uso de coque de petróleo fue aportada por la Dirección General de Aduanas de Costa Rica, al brindar una cantidad de importaciones de 7.907 t coque quemado/año. Los valores de otros usos de carbón no se toman en cuenta, ya que se refiere al carbón que ha sido quemado en hornos de 300 Mw de capacidad, según la Guía de Instrucciones "Toolkit for identification and quantification of mercury releases".[4]

Los datos de combustión y uso del diesel, gasóleo, petróleo y keroseno fueron de 2.488.922 t quemadas, y fueron aportados por RECOPE.

Para el valor de la cantidad de quema de biomasa, se tomó como referencia los valores otorgados por el Ing. Luis Diego Román Madriz, coordinador de la Comisión Nacional sobre Incendios Forestales (CONIFOR) del SINAC, mediante el informe de las quemas agrícolas controladas, periodo 2014-2015[5]. El valor calculado fue de 2.898.700 t biomasa quemada/año (peso seco). Además, se utilizó los valores de

2 Datos tomados de *http://www.bancomundial.org/es/country/costarica*

3 Datos tomados de *http://www.hacienda.go.cr*

4 United Nations Environment Programme, Toolkit for identification and quantification of mercury releases, Version 1.0, march 2010, p. 70.

5 Dirección Nacional de Extensión Agropecuaria, Informe de quemas agrícolas controladas, periodo 2014-2015, p 3.

densidad de biomasa por hectárea (cuadro 2), especificados en el Plan Nacional de implementación para el convenio de Estocolmo, 2015 [6]. La quema de biomasa debida a los residuos agrícolas es una quema a cielo abierto, por lo tanto sus emisiones al aire son directas.

Cuadro 2. Factores de densidad de biomasa, según el tipo de cultivo [11]

Tipo de cultivo	Factor
Piña	150
Caña de azúcar	20
Arroz	4,4
Pasto	8,3
Maíz	8,0
Bosque	23

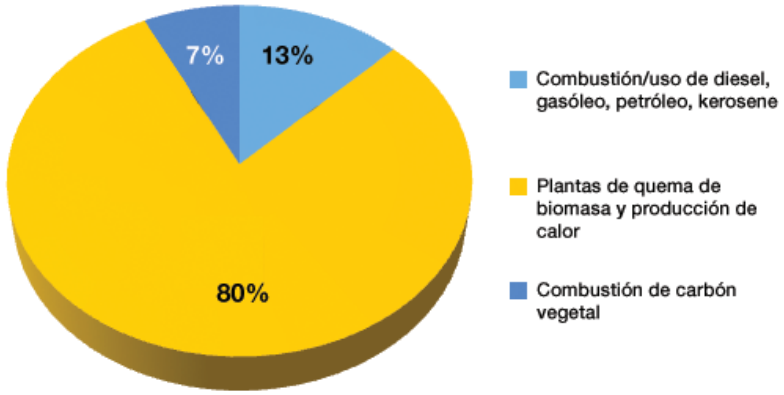


Figura 1. Ingreso de Hg al país por consumo de energía y producción de combustibles

El ingreso del mercurio por la fuente "Combustión/uso de gas natural, gasoducto (calidad de los consumidores)" representó 0,1 kg de Hg durante el año de estudio por lo cual su valor porcentual fue de cero.

Según la figura 1, es importante considerar que del total de la cantidad de mercurio ingresada al país por consumo de energía se genera en un 80% (equivalente a 87 kg de mercurio) de las plantas de quema de biomasa y producción de calor. Mientras que el 13%, equivalentes a 14 kg de mercurio, ingresa por combustión/uso de diésel, gasóleo, petróleo, kerosene y el 7% por medio de la combustión de carbón vegetal.

Las proporciones se mantiene al estudiar las emisiones, las cuales son todas al aire y corresponden en un 86% a las plantas de quema de biomasa y producción de calor, en un 13% debido a la Combustión/uso de diésel, gasóleo, petróleo, keroseno y en un 7% por la combustión de carbón vegetal.

3.2.2. Producción de combustible

En la categoría de producción de combustible, se reúne la información correspondiente al consumo y/o la producción de energía relacionada con los combustibles fósiles. Según el Ing. Henry Arias Jiménez de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), para el 2014 no se realizó refinamiento del combustible, por lo que los valores que se ingresaron al instrumento fueron de 0 toneladas de aceite refinado.

[6] Plan Nacional de implementación para el convenio de Estocolmo, 2015.

Al colocar los datos anteriores en la hoja de cálculo, se obtuvo los kilogramos de mercurio ingresados al país por el consumo de energía y la producción de combustibles. En el cuadro 3, se observan los resultados.

Cuadro 3. Cuantificación de las liberaciones del mercurio por el consumo de energía y producción de combustibles en Costa Rica para el 2014.

Categoría de fuente	Entrada Hg estimado, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
CONSUMO DE ENERGÍA	Estimado Estándar	Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos de sectores específicos / disposición
Combustión/uso de coque de petróleo y aceite pesado	0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustión/uso de diesel, gasóleo, petróleo, kerosene	14	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plantas de quema de biomasa y producción de calor	87	87,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustión de carbón vegetal	8	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

3.3. Paso 3. Producción nacional de metales y materias primas

Este paso cubre tres grupos de actividades: 1) la minería industrial y el procesamiento primario de los metales, 2) la minería del oro a pequeña escala y 3) la producción industrial de los materiales de alto volumen como el cemento y el papel.

3.3.1. Producción primaria de metales

De acuerdo con la información proporcionada por la Dirección de Geología y Minas (DGM) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), en Costa Rica no se extrajo mercurio, zinc, cobre, plomo, alúmina o metales ferrosos por el método primario durante el 2014, ya que no se otorgó ninguna concesión para la explotación del mismo por parte de la DGM.

3.3.2. Minería de oro

La DGM indicó que en el país, el oro se recuperó por medio de dos metodologías, con la amalgamación con mercurio y por medio de otros métodos sin amalgama de mercurio. La extracción de oro por métodos diferentes a la amalgamación de mercurio fue de 0,350 t de oro, generando 0,02 kg de mercurio al ambiente. El otro método de extracción fue con amalgamación de mercurio con uso de retorta con un valor de 0,7 t de oro producido y generando alrededor de 1 kg de mercurio al ambiente. La cantidad de mercurio que aporta estos tipos de minería fue de 1 kg de mercurio.

3.3.3. Otros materiales de producción

Se refiere a la producción del cemento y a la producción de la pulpa del papel. La adición del mercurio por la producción del cemento fue 409 kg de mercurio por las 1.488.600 toneladas de cemento generado durante el 2014. Para este paso de la herramienta, la producción de cemento se refiere al 99,82% de las entradas de mercurio, lo demás del porcentaje se refiere a lo referente a la producción primaria de metales, con un 0,17% de las entradas de mercurio.

Para la producción de la pulpa del papel, de acuerdo con las empresas consultadas, en Costa Rica no se produce pulpa de papel o se realiza alguna transformación asociada.

Las emisiones de mercurio por esta categoría se muestran en la cuadro 4.

Cuadro 4. Producción nacional de metales y materias primas de alto volumen como cemento y papel en el 2014

Categoría de fuente	Entrada Hg estimado, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
	Estimado Estándar	Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos de sectores específicos / disposición
Producción primaria de metales							
Extracción de oro por otros métodos que no sea la amalgamación de Hg	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Extracción de oro con amalgamación de mercurio - con uso de retortas	1	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Otros materiales de producción							
Producción de cemento	409	245,6	0,0	0,0	81,9	81,9	0,0

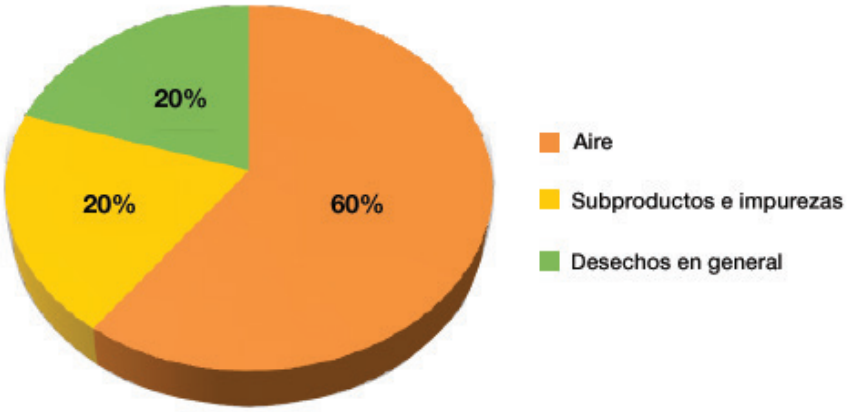


Figura 2. Distribución de las emisiones de mercurio según la producción nacional de metales y materias primas para el 2014

Producto de la diferencia entre las actividades de este apartado, la actividad minera representó un 0,17 % de la cantidad de mercurio que se libera al ambiente, mientras que la producción de cemento fue de un 99,83 % de mercurio liberado.

En la figura anterior se observa que la mayor parte de las emisiones ocurre al aire, con 121 kg de Hg, mientras que las pérdidas en los subproductos y las impurezas y los residuos en general fue de 41 kg. Para esta categoría no hay otras salidas específicas de mercurio.

3.4. Paso 4. Producción nacional y procesamiento con el uso intencional de mercurio

El paso 4 se refiere a dos categorías de fuente, una es por la producción de sustancias químicas y la segunda por la manufactura industrial de productos que contienen mercurio.

3.4.1. Producción de sustancias químicas

Para la producción de cloroálcali, se consultó a Irex de Costa Rica y al Grupo Transmerquim, donde se respondió que no produce cloro gaseoso, solamente se importa al país.

Con respecto a la producción de VCM (monómeros de cloruro de vinilo) con catalizador de mercurio, según las consultas realizadas a nivel nacional, en el país solo se realizan las mezclas para hacer policloruro de vinilo (PVC) y no se utiliza el mercurio como catalizador.

Debido a lo anterior, las emisiones de mercurio por la producción de sustancias químicas fueron de cero kilogramos de mercurio al ambiente.

3.4.2. Producción de productos con contenido de mercurio

Para completar los datos referentes al contenido del mercurio en las pinturas, se tomó en cuenta la cantidad de acetato de mercurio ingresada al país para el año de estudio, y según la Dirección General de Aduanas de Costa Rica, no se dio el ingreso de dicha sustancia, por lo que el resultado final brindó una cantidad de 0 kg de mercurio liberados al ambiente.

3.5. Paso 5. Manejo de residuos y reciclaje

En este paso hay 3 categorías según la fuente del mercurio y de acuerdo con el tratamiento de los residuos en el país. La primera categoría se refiere al reciclado de los metales, la segunda a la incineración de los residuos y la tercera a la deposición de los residuos y al tratamiento de las aguas residuales.

3.5.1. Producción de reciclado de metales

En Costa Rica, para el año de estudio, no se dio el reciclado del mercurio. La emisión de Hg debida al reciclado de metales ferrosos como el acero y el hierro, se estima de acuerdo con el número de vehículos reciclados, según el Ministerio de Salud, en Costa Rica no se recicla vehículos, solo se desmantelan y se utilizan los repuestos. Pero no hay reciclado de vehículos completos con fines de extracción de metales, por lo tanto su cuantificación no es posible por medio de la Herramienta.

3.5.2. Incineración de residuos

Para este dato el país cuenta con el decreto 39136-S-MINAE del 2015 para reglamentar la incineración de los residuos sólidos ordinarios, el cual establece en su transitorio cuarto que la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) recibirá proyectos para incineración hasta después de 9 meses de la publicación del decreto, dicho plazo terminaría en Junio del 2016. En este punto es importante conocer la diferencia entre incineración y quema a cielo abierto, el primer proceso se refiere a una combustión bajo condiciones controladas, de manera que la combustión sea completa y por lo tanto se reduzca la cantidad del residuo y las emisiones generadas se controlan para reducir su contaminación. Las quemas a cielo abierto por otra parte no son procesos controlados y las emisiones son vertidas al aire sin ningún control.

3.5.3. Deposición de residuos en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales

El valor estimado de los residuos depositados en los rellenos sanitarios y en los vertederos informales se estimó a partir de un estudio realizado en el 2014 por el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional en conjunto con el Ministerio de Salud7, ya que son los únicos datos tabulados disponibles y actualizados. Además, se utilizó la información otorgada por la empresa Berthier EBI de Costa Rica S.A., sobre el inventario controlado que realizan semanalmente de la cantidad de residuos que se reciben en los rellenos sanitarios que coordinan. De estos estudios se estableció que en el 2014 se depositaron 866.009 t de desechos en los rellenos sanitarios durante el 2014. Para los vertederos a cielo abierto, el valor fue de 121.983 t de desechos vertidos, aportando 4330 kg y 610 kg de mercurio respectivamente.

Con respecto al tratamiento de las aguas residuales, se utilizaron los datos otorgados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y por la Dirección de Aguas de MINAE, en donde se tomaron en cuenta todas las descargas que se realizan a nivel nacional, con base en los permisos de vertido otorgados a las empresas del sector agropecuario, sector comercio y servicios, sector industria manufacturera y sector de tratamiento de aguas residuales domésticas. En total se obtuvo un valor de 1.683.347.808 m3 de agua residual tratada para el año de estudio. Esta cantidad de agua residual tratada generó un estimado de 8.838 kg de mercurio.

En este caso, la disposición de los residuos en los rellenos sanitarios y en los vertederos informales, además del tratamiento de las aguas residuales es la subcategoría que aporta la cantidad significativa de mercurio al ambiente, como se observa en la siguiente figura.

[7] Laboratorio de Análisis Ambiental, Ministerio de Salud, *http://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/material-publicado/descargas/investigaciones/inventario-de-georeferenciacion-y-de-caracterizacion-fisico-quimico-de-lixiviados-suelos-y-gases-en-sitios-de-disposicion-final-de-residuos/*

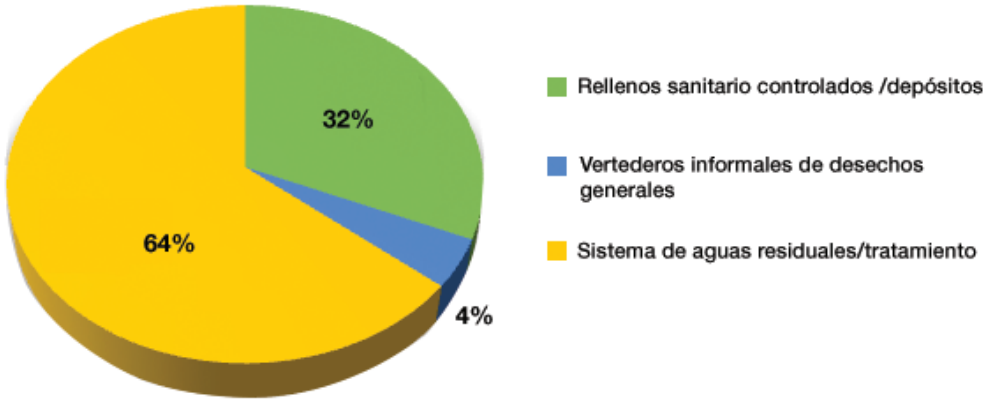


Figura 3. Mercurio ingresado al país en el 2014 por tratamiento de desechos y reciclado.

El cuadro 5 muestra que las emisiones al aire corresponden a 13.778 kg de Hg que representan un 85 % de las salidas de mercurio cuantificadas en al paso 5. Manejo de residuos y reciclaje en Costa Rica durante el 2014.

Cuadro 5. Liberaciones de mercurio debido al manejo de los desechos a nivel nacional para el 2014.

Categoría de fuente	Entrada Hg estimado, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
Deposición de desechos/ relleno sanitario y tratamiento de aguas residuales	Estimado Estándar	Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos de sectores específicos / disposición
Rellenos sanitario controlados/ depósitos	4.330	43,3	0,4	0,0	-	-	-
Vertederos informales de desechos generales	610	61,0	61,0	487,9	-	-	-
Sistema de aguas residuales/ tratamiento	8.838	0,0	7.953,8	0,0	0,0	883,8	0,0

En la figura 4 puede observarse la distribución de las emisiones por el manejo de los desechos en el país.

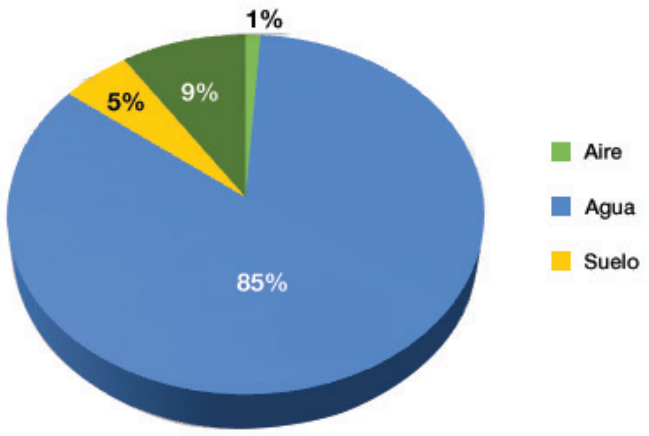


Figura 4. Distribución de las emisiones de Hg como consecuencia del tratamiento de los desechos y reciclado del país durante 2014.

3.6. Paso 6. Consumo general de mercurio em productos, como metal mercurio y como mercurio contenido en sustancias

Este paso incluye el uso a nivel nacional del mercurio utilizado como metal o como parte de un producto, por lo que la Herramienta hace una estimación, de acuerdo con la cantidad de habitantes, y contempla una amplia variedad de los productos de consumo, como por ejemplo los termómetros, las baterías y las lámparas fluorescentes, así como los productos a los que se les adiciona mercurio para mejorar su desempeño como es el caso de las aleaciones de amalgama dental y los manómetros. Según el kit de herramientas para la identificación y la cuantificación de las liberaciones de mercurio, el consumo nacional anual se define como:

Consumo = producción + importación – exportación **Ecuación 1**

Esta ecuación se tomó en cuenta para realizar el cálculo de cada uno de los productos que se solicitaron en la lista de las partidas arancelarias brindada por el Departamento de Estadística y Registro de la Dirección General de Aduanas del Ministerio de Hacienda.

3.6.1. Uso y disposición de productos con contenido de mercurio

Este paso contempla solo esta categoría principal. Los datos obtenidos para este caso se resumen en el cuadro 6.

Cuadro 6. Liberaciones del mercurio en los productos, como metal mercurio y como mercurio contenido en sustancias, 2014.

Categoría de fuentes	Entrada Hg estimado, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
	Estimado estándar	Aire	Agua	Suelo	Sub-productos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos sectores específicos / eliminación
Uso y disposición de productos con contenido de mercurio							
Amalgama dental para rellenos (rellenos de "plata")	741	14,8	245,9	0,0	26,7	142,2	142,2
Preparación de rellenos en clínicas dentales		14,8	103,7	0,0	0,0	88,9	88,9
Uso - de los rellenos ya puestos en la boca		0,0	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Disposición (dientes perdidos y extraídos)		0,0	133,3	0,0	26,7	53,3	53,3
Termómetros	3	0,3	1,0	0,0	0,0	1,9	0,0
Termómetros médicos de Hg	1						
Otros termómetros de Hg de vidrio (para aire, de laboratorio, lácteos, etc.)	1						
Termómetros de Hg para control de motores y otros termómetros de Hg para grandes industrias/ especialidades	2						
Interruptores eléctrico y relés con mercurio	691	69,1	0,0	69,1	0,0	553,0	0,0
Fuentes de luz con mercurio	117	5,9	0,0	0,0	0,0	111,5	0,0
Tubos fluorescentes (de doble extremo)	26						
Lámparas fluorescentes compactas (CFL de un solo extremo)	2						
Otras fuentes de luces que contienen Hg (ver las guías)	89						

Categoría de fuentes	Entrada Hg estimado, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
	Estimado estándar	Aire	Agua	Suelo	Sub-productos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos sectores específicos / eliminación
Baterías con mercurio	109	0,0	0,0	0,0	0,0	109,1	0,0
Óxido de mercurio (batería de botón y de otros tamaños); también conocidas como celdas de mercurio-zinc	11						
Otras baterías de botón (zinc-aire, bacterias alcalinas de botón, óxido-plata)	90						
Otras baterías con mercurio (alcalinas cilíndricas corrientes, permanganato, etc.) ver guías	9						
Manómetro para medir presión arterial (esfigmomanómetro de mercurio)	518	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Manómetro para medir presión arterial (esfigmomanómetro de mercurio)	25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Químicos de laboratorio	49	0,0	16,3	0,0	0,0	16,3	16,8
Otros equipos médicos y de laboratorio con mercurio	198	0,0	65,2	0,0	0,0	65,2	67,2

En el cuadro 6, se observó que según la cantidad de habitantes (4.937.755 habitantes), la herramienta del PNUMA calcula la cantidad de liberaciones de mercurio con respecto a la cantidad de mercurio liberado al ambiente, dando como resultado 741 kg de mercurio. Otros parámetros calculados con la cantidad de habitantes a nivel nacional fueron los interruptores eléctricos, las sustancias químicas de laboratorio con mercurio y otros equipos médicos y de laboratorio con mercurio, donde se liberaron 691 kg, 49 kg y 198 kg de mercurio respectivamente.

Con respecto a la cantidad de termómetros, ingresaron al país 864 unidades de termómetros médicos de mercurio, 51 termómetros de laboratorio y 17 termómetros industriales, para generar 932 kg de mercurio.

Durante el 2014, se importaron 5.200.754 unidades de fuentes de luz con mercurio, de los cuales 1.057.103 artículos fueron tubos fluorescentes de doble extremo, 187.016 artículos fueron fluorescentes de un solo conector y 3.956.635 unidades de otras fuentes de luces que contienen mercurio. Todas estas fuentes de luz generaron 117 kg de mercurio.

En el apartado de baterías con mercurio, al país ingresaron alrededor de 48 toneladas de baterías, de los cuales 0,034 t fueron de baterías de mercurio de botón con celdas de mercurio-zinc, 13 toneladas de baterías alcalinas de botón de óxido-plata y 35 t de otras baterías con mercurio, arrojando un estimado de 109 kg de mercurio al ambiente.

Con respecto a los manómetros para medir la presión arterial (esfigmomanómetros de mercurio), al país se dio un ingreso de 6.477 unidades para generar un estimado de 518 kg de mercurio al ambiente. Además, la herramienta hace un estimado con la población del país, donde calcula la cantidad de manómetros que no se pueden contabilizar como ventas a nivel nacional, y por esto al desechar tales artículos, se generan 25 kg de mercurio.

En la siguiente figura puede observarse un resumen del ingreso de mercurio al país debido al consumo general de mercurio en productos, como metal mercurio y como mercurio contenido en sustancias.

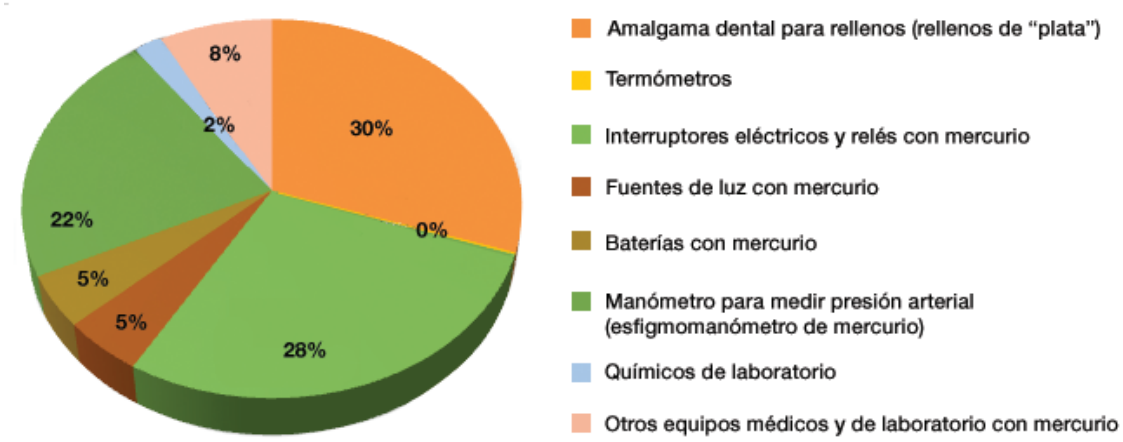


Figura 5. Distribución del mercurio por productos que lo contienen, 2014.

En la figura anterior es posible apreciar que los mayores aportes de mercurio para éste paso son: uso de amalgamas dentales, interruptores eléctricos y relés con mercurio, manómetros para medir la presión arterial y otros equipos médicos.

A continuación en la figura se muestra como se distribuyen las emisiones en el paso 6 consumo general de mercurio en productos, como metal mercurio y como mercurio contenido en sustancias.

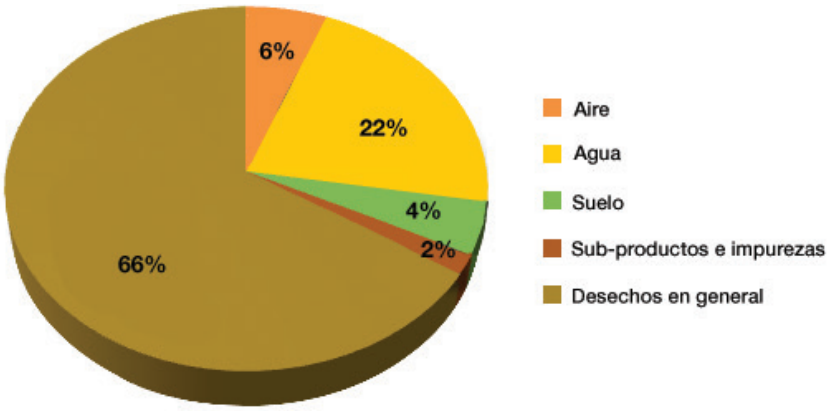


Figura 6. Distribución de las emisiones de Hg por el uso de productos que lo contienen, 2014.

En la figura 6 se aprecia visualmente que los desechos, en general, son los que reciben más emisiones de mercurio por el consumo o uso de productos que lo contienen, en segundo lugar la matriz más afectada es el agua.

3.7. Paso 7. Crematorios y cementerios

En este paso se cuantifican las emisiones de mercurio provenientes del fallecimiento de los habitantes y a la disposición de los cuerpos, ya sea al someterlos a cremación o al entierro.

En Costa Rica, la práctica de la cremación se lleva a cabo con menor frecuencia que el enterrar los cuerpos, ya que durante el 2014, se reportaron 904 cremaciones y 18.742 entierros.

Las emisiones generadas por los entierros realizados fueron de 46,9 kg de Hg/año hacia el suelo, mientras que las emisiones, debidas al proceso de cremación de cuerpos, fueron en su totalidad 2,3 kg de Hg/año al aire, para el año de estudio.

Debido a que en Costa Rica la mayor parte de los cuerpos son enterrados, el 98 % de las emisiones son hacia el suelo y el resto hacia el aire, cuando los cuerpos son cremados.

Los datos anteriores se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7. Liberaciones del mercurio debido a las cremaciones y a los entierros de ser humanos realizados en Costa Rica durante el 2014

Categoría de fuente	Entrada Hg estimado, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
Crematorios y cementerios	Estimado estándar	Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos de sectores específicos / disposición
Crematoria	2	2,3	0,0	0,0	-	0,0	0,0
Cementerios	47	0,0	0,0	46,9	-	0,0	0,0

En la figura 7 se observa el porcentaje que representa las salidas de mercurio en esta categoría. En ella se observa que el 85% corresponde a contaminación en el suelo y el restante 15% al aire.

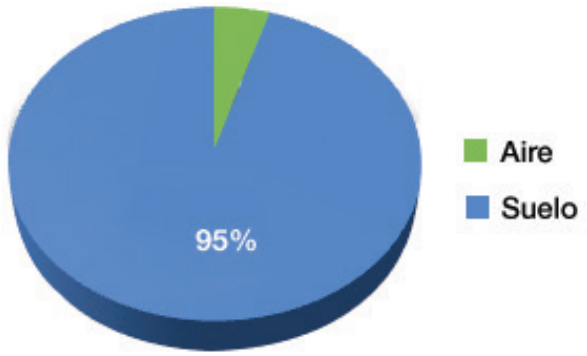


Figura 7. Distribución de las emisiones de Hg de acuerdo con el tratamiento de cuerpos fallecidos en el 2014.

3.8. Paso 8. Fuentes misceláneas

En el paso 8 de la herramienta solo se muestran las fuentes misceláneas no cuantificadas para la elaboración de este inventario en Costa Rica para el año de estudio. De acuerdo con la investigación realizada, se hallaron los resultados que se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Presencia de fuentes misceláneas de mercurio en Costa Rica para el 2014.

Categoría de fuente	¿Fuente presente? Si/No
Combustión de pizarra bituminosa	N
Combustión de turba	N
Producción de energía geotérmica	S
Producción de otros metales reciclados	S
Producción de cal	S
Producción de agregados livianos (piezas de barro quemado para construcción)	N
Cloruro e hidróxido de sodio producido a través de la tecnología de celda-mercurio	N
Producción de poliuretano con catalizador de mercurio	N
Recubrimiento de semillas con químicos de mercurio	N
Semi-conductores con detección infrarroja	ND
Tubos Bougie y tubos Cantor (médicos)	ND
Usos educacionales	S
Giroscopios con mercurio	N
Bombas de vacío con mercurio	S
Mercurio usado en rituales religiosos (amuletos y otros usos)	S
Mercurio usado en medicinas tradicionales (ayurvédica y otros) y en medicina homeopática	S
Uso de mercurio como refrigerante para ciertos sistemas de enfriamiento	ND
Faros (nivelando los rodamientos para las luces de navegación)	S
Mercurio en los rodamientos de gran tamaño en las partes mecánicas rotativas por ejemplo en plantas de tratamiento de aguas residuales más antiguas	ND
Bronceado (Curtido)*	N
Pigmentos	ND
Productos para el oscurecimiento y gravado de acero	ND
Ciertos tipos de papel de color para fotografía	ND
Suavizadores de arranque para rifles	ND
Explosivos (por ejemplo fulminato de mercurio)	ND
Fuegos artificiales	ND
Juguetes para ejecutivos ó juguetes de oficina**	S

S: Si, la fuente se encontraba presente para el año de estudio.
N: No, la fuente no se encontraba presente en Costa Rica en el 2014.
ND: La información acerca de la presencia de ésta fuente no se encontró disponible de acuerdo con las fuentes de información utilizada.
* Es un proceso químico que se le realiza al cuero para evitar su descomposición, de acuerdo con la Evaluación Mundial de Mercurio en el 2002 sólo Irlanda reportaba la realización de ese proceso.
** Se refiere a juguetes para personal ejecutivo, para colocar sobre un escritorio de trabajo en una oficina. Un ejemplo muy popular de ellos es la "cuna de Newton" o "péndulo de Newton". 13

3.9 Resumen estimación de entradas de mercurio a Costa Rica por fuentes antropogéncias durante el 2014

En el cuadro 9 se observa un resumen del total de las entradas y de las liberaciones de mercurio en kg durante el 2014 en Costa Rica.

Cuadro 9. Resumen de entradas y de las liberaciones del Mercurio por fuente, en kg durante el 2014.

Categoría de fuente	Entrada estimada de Hg, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
		Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos de sectores específicos / disposición
Combustión de carbón y otro uso de carbón	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otros combustibles fósiles y combustión de biomasa	109,7	109,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Producción de petróleo y gas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Producción primaria de metal (excl. Producción de oro por amalgamiento)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Extracción de oro con amalgamiento de mercurio	0,7	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Otra producción de materiales	409,4	245,6	0,0	0,0	81,9	81,9	0,0
Otra producción de químicos y polímeros	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Producción de productos con contenido de mercurio	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso y disposición de rellenos dentales de amalgama	740,7	14,8	245,9	0,0	26,7	142,2	142,2
Uso y disposición de otros productos	1.710,7	75,3	82,4	69,1	0,0	857,0	83,9
Producción de metales reciclados	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Incineración de desechos y quema a cielo abierto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Categoría de fuente	Entrada estimada de Hg, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
		Aire	Agua	Suelo	Sub-productos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos de sectores específicos / disposición
Deposición de desechos *1	4.330,0	43,3	0,4	0,0	-	-	-
Vertederos informales de desechos generales *1*2	609,9	61,0	61,0	487,9	-	-	-
Sistema de aguas residuales/ tratamiento *3	8.837,6	0,0	7.953,8	0,0	0,0	883,8	0,0
Crematorio y cementerios	49,1	2,3	0,0	46,9	0,0	0,0	0,0
TOTALES	**3.510,0**	**550,0**	**390,0**	**120,0**	**110,0**	**1.960,0**	**230,0**
Notas:							
* 1: Para evitar la duplicación de entradas de mercurio en el TOTAL a partir de desechos y productos, sólo el 10% de la entrada de mercurio a las fuentes de incineración, a la deposición							
controlada de desechos y vertederos informales de desechos se incluye en el total de entradas de mercurio. Este 10% representa aproximadamente la entrada de mercurio a los desechos de materiales que no se han cuantificados de manera individual en el Inventario de Nivel 1 de esta guía.							
Véase el Apéndice 1 del Guía del Inventario de Nivel 1 para más explicación al respecto.							
* 2: Las cantidades estimadas incluyen mercurio en los productos que también se han tenido en cuenta en cada categoría de producto.							
Para evitar la doble contabilidad, la liberación al suelo de vertidos informales de desechos en general ha sido sustraída de forma automática en los TOTALES.							
* 3: Las cantidades estimadas de entrada y liberación al agua incluyen cantidades de mercurio que también se han tenido en cuenta en cada categoría de fuente.							
Para evitar la doble contabilidad, la entrada y la liberación al agua provenientes del sistema/tratamiento de aguas residuales se han sustraído de forma automática en los TOTALES.							

En el cuadro anterior, para evitar la duplicación de las entradas del mercurio en la sumatoria total a partir de los residuos y los productos, sólo el 10% de la entrada de mercurio a las fuentes de incineración, a la deposición controlada de los residuos y a los vertederos informales de residuos, se incluye en el total de entradas de mercurio. Este 10% representa aproximadamente la entrada de mercurio a los residuos de materiales que no se han cuantificados de manera individual en el inventario de nivel 1.

Las cantidades estimadas incluyen el mercurio en los productos que también se han tenido en cuenta en cada categoría del producto. Para evitar la doble contabilidad, la liberación al suelo de los vertidos informales de residuos en general, se ha sustraído esa cantidad de la sumatoria total.

Las cantidades estimadas de la entrada y la liberación al agua incluyen las cantidades de mercurio que también se han tenido en cuenta en cada categoría de fuente. Para evitar la doble contabilidad, la entrada y la liberación al agua provenientes del sistema-tratamiento de aguas residuales, se ha sustraído esa magnitud del valor total de emisión.

De acuerdo con las estimaciones realizadas, la entrada total del mercurio a Costa Rica en el año 2014, cuando la población era de 4.937.755 habitantes, fue de 3.510 kg de Hg.

Las cantidades totales por categoría de la fuente se resumen en la Figura 8, en ella se puede observar de cuál de esas categorías proviene el mayor cantidad de mercurio.

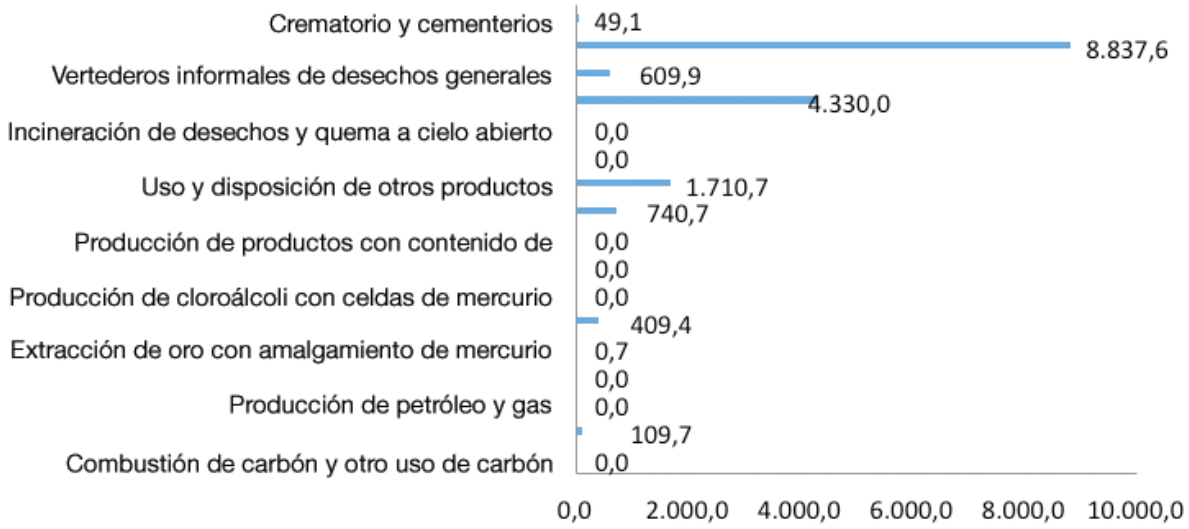


Figura 8. Entrada estimada de Hg en kg durante el 2014 según la fuente.

Como se observa en la figura anterior, las fuentes que contribuyen con el ingreso de la mayor cantidad de mercurio para el año de estudio son: tratamiento de aguas, disposición de los desechos, uso y disposición de otros productos y en menor medida uso y disposición en rellenos sanitarios.

En la siguiente figura se puede observar la distribución del total de las emisiones de Hg durante el 2014 Costa Rica.

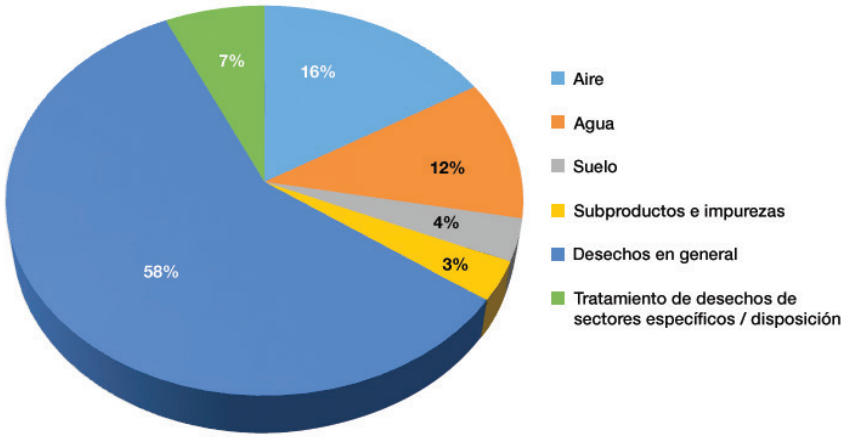


Figura 9. Distribución de las emisiones totales de Hg por fuentes antropogénicas para el 2014 en CR.

En la figura 9 se puede observar que la mayor parte de las emisiones de mercurio ocurre hacia los Desechos en general, correspondiendo con un 58% de las emisiones. En segundo lugar la matriz más afectada es el aire, recibiendo un 16% de las emisiones y en tercer lugar el agua que abarca 12% de las emisiones totales.

3.10 Resumen de las emisiones de mercurio para el año 2014 en Costa Rica.

Como resultado de este estudio, en la siguiente figura, se observan las fuentes de emisión de los desechos en general y esto se refiere a los aportes de cada una de las fuentes de emisión que suman ese 62% en la figura anterior.

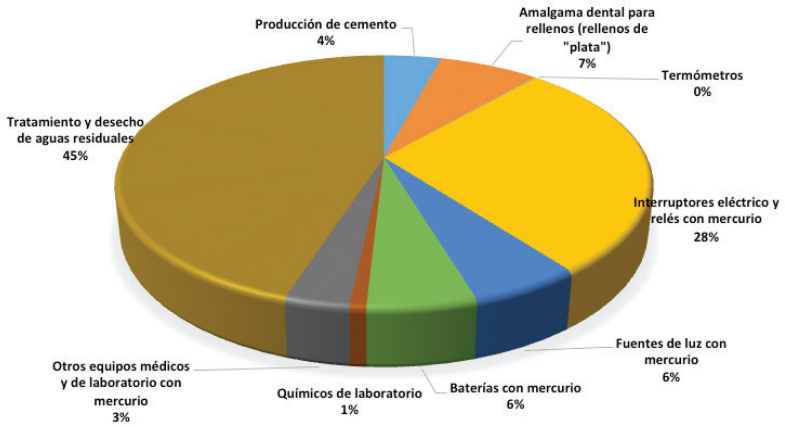


Figura 10. Liberaciones de Hg en los desechos en general en kg anuales para el 2014.

En la figura anterior se observa que los mayores aportes de mercurio a los desecho en general provienen del tratamiento de aguas residuales, el uso de interruptores eléctricos que contienen mercurio y en menor medidas otros uso de productos que contienen mercurio.

El segundo lugar en recibir la mayor cantidad de emisiones de Hg es el aire, las fuentes que alimentan esa emisión se desglosan a continuación.

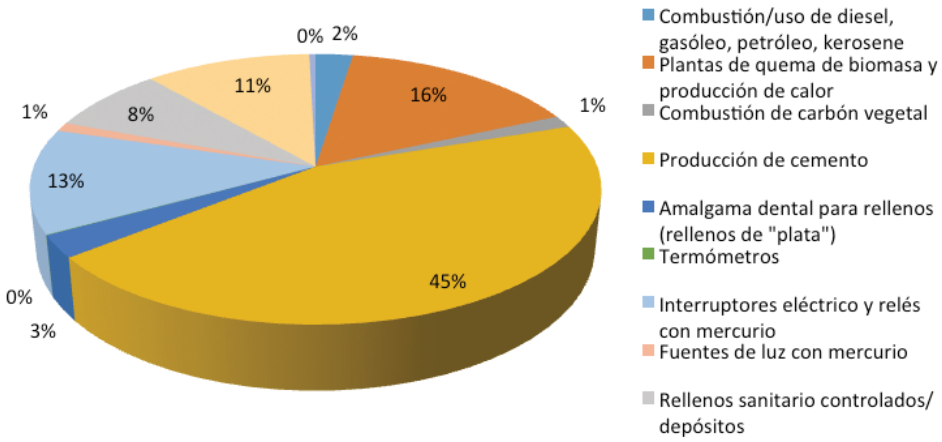


Figura 11. Porcentaje de mercurio emitido al aire según su fuente para el 2014.

En la figura 11 se observan las categorías que aportaron un valor a las emisiones al aire, el punto que más aporta a las emisiones al aire es la producción de cemento.

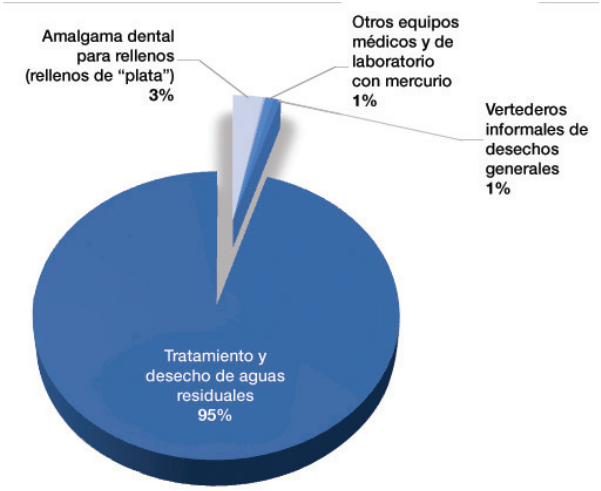


Figura 12. Porcentaje de emisiones al aire según la categoría de la fuente para el 2014.

El agua es la segunda matriz que recibe más emisiones con un 12% del total, de ese porcentaje la contribución más alta es de 7.953,8 kg de Hg por el tratamiento de aguas residuales, ese valor corresponde al 95% del total de emisiones al agua, como se observa en la figura 12. El segundo aporte más importante de emisiones al agua corresponde al uso y disposición de amalgamas dentales con un valor de 245,9 kg de mercurio equivalente a un 3 % del total de emisiones al agua.

En la siguiente figura se observan las fuentes de emisión correspondientes con el tratamiento de desechos en sectores específicos.

De acuerdo con la figura 13 se observan 3 fuentes principales de mercurio para la emisión a el tratamiento de desechos para sectores específicos. La emisión más alta proviene del tratamiento o disposición de amalgamas dentales, seguido por uso de equipos médicos o de laboratorio y en tercer lugar por el uso de sustancias químicas que contienen mercurio en los laboratorios.

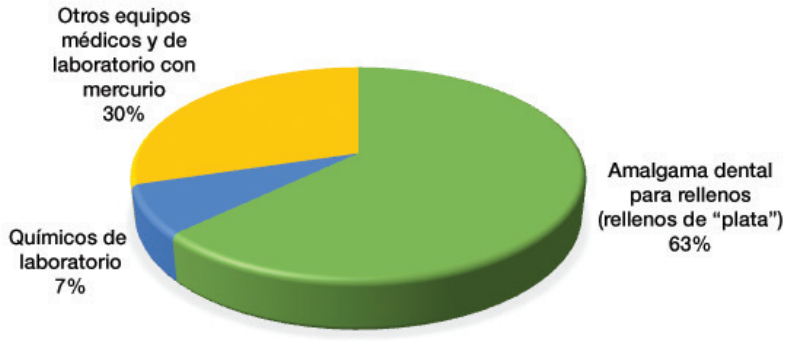


Figura 13. Porcentaje de emisiones de Hg al tratamiento de desechos en sectores específicos o disposición según la fuente para el 2014.

A continuación, se muestran las cantidades de mercurio en kg emitidas al suelo para el 2014, las cuales según la figura 9 corresponden a un 4% del total de las emisiones.



Figura 14. Cantidad de Hg emitida al suelo según su fuente en kg de Hg durante el 2014.

De acuerdo con la figura 14 la categoría de fuente de vertederos informales de desechos generales es la que aporta mayor cantidad de mercurio a las emisiones ocurridas al suelo durante el 2014.



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó un "Inventario Nacional de Emisiones de Mercurio en Costa Rica" para el 2014, utilizando la herramienta propuesta por el PNUMA, creando una base para la situación de Costa Rica respecto a la contaminación antropogénica en el país.
- Durante el año de estudio, las mayores liberaciones de mercurio fue hacia los desechos en general, lo cual correspondió a un 62% de las emisiones. En segundo lugar de la cantidad del mercurio emitido se encontró hacia el aire (13%) y en el tercer puesto hacia el agua con un 12% de emisiones recibidas.
- La fuente que aporta la mayor cantidad de mercurio a los desechos en general es el tratamiento de aguas con 883,8 kg durante el 2014. En segundo lugar el mayor aporte para esa matriz corresponde a importaciones y uso de esos productos importados que contienen mercurio o compuestos de mercurio en sus componentes.
- En las emisiones al aire la mayor afectación se debe a la producción de cemento en Costa Rica para el 2014.
- Las emisiones al agua corresponden en un 95% al tratamiento de aguas residuales.
- El uso de amalgamas es una importante fuente que se puede controlar con facilidad, para el 2014 todavía aporta a Costa Rica 142,2 kg de mercurio que se emiten en el tratamiento de sectores específicos.
- Se recomienda que las entidades gubernamentales controlen las fuentes de mercurio para así reducir las emisiones, ya que en muchos casos provienen de uso de productos importados.
- Es necesario que, para cuantificar la exposición que sufren los costarricenses al mercurio, se realicen estudios acerca de las fuentes naturales como los volcanes para sumar a ellos las fuentes antropogénicas estimadas y poder obtener una estimación real de las emisiones de mercurio al ambiente.



5. BIBLIOGRAFÍA

UNEP. (2013). Convenio de Minamata sobre Mercurio.

Aguilar Porras, M. Inventario nacional de las emisiones antropogénicas de mercurio, utilizando la metodología propuesta por el PNUMA, para el establecimiento de políticas nacionales e internacionales relacionadas con el control de las emisiones, Costa Rica, 2008. Tesis, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica, 2015.

Ministerio de Salud, YMCA de Panamá y el Programa para las Naciones Unidas y el Medio Ambiente (PNUMA). Informe de Final de la Actualización del Inventario de Liberaciones de Mercurio en Panamá, 2008. Proyecto "Almacenamiento Ambientalmente Racional de Mercurio y Eliminación de Excedentes", Panamá. 2013.

Resabala, C. Inventario Nacional de Emisiones de Mercurio y Productos que contienen Mercurio, Ecuador. Ministerio de Ambiente, Subsecretaria de Calidad Ambiental Quito, Ecuador. 2008.

Dirección de Calidad Ambiental, República Dominicana. Informe final "Análisis Situacional Sobre la Gestión del Mercurio en la República Dominicana e Inventario Nacional de Emisiones de Mercurio. República Dominicana. 2010.

Cartel "Concurso para Consultor(a) Nacional para la realización de un Inventario Nacional de las Emisiones de Mercurio, utilizando la metodología actualizada propuesta por el PNUMA, para el establecimiento de Políticas nacionales e internacionales, relacionadas con el control de las emisiones, Costa Rica". 2015. PNUD, GEF y MINAE. San José, Costa Rica.

Datos tomados de *http://www.bancomundial.org/es/country/costarica*

Datos tomados de *http://www.hacienda.go.cr*

United Nations Environment Programme, Toolkit for identification and quantification of mercury releases, Version 1.0, March 2010, p. 70.

Dirección Nacional de Extensión Agropecuaria, Informe de quemas agrícolas controladas, periodo 2014-2015, p 3.

Plan Nacional de implementación para el convenio de Estocolmo, 2015.

Laboratorio de Análisis Ambiental, Ministerio de Salud, *http://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/material-publicado/descargas/investigaciones/inventario-de-georeferenciacion-y-de-caracterizacion-fisico-quimico-de-lixiviados-suelos-y-gases-en-sitios-de-disposicion-final-de-residuos/*

PNUMA. Programa Interorganismos para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas IOMC, 2002. Evaluación Mundial Sobre Mercurio, Suiza. pp. 142-143.



INVENTARIO N2



INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto se desarrolló con el fin de realizar un inventario de nivel N2 utilizando el Toolkit correspondiente preparado por el PNUMA, según la versión más actualizada en inglés de noviembre de 2015. De esta forma, una vez concluido someterlo a comparación contra el inventario de nivel N1, el cual fue generado anteriormente mediante la versión en español del Toolkit de abril del 2011. No obstante, conforme fue elaborado el inventario de nivel N2 se identificaron fuentes de información más precisas y nuevas para el año 2014, las cuales no estaban disponibles durante la elaboración del inventario N1 y permitían modificaciones en los datos de actividad para ciertas fuentes emisoras y por ende, en la emisión calculada. Además, se observó que la versión en español del Toolkit N1 tuvo su última actualización en abril de 2011 en la hoja de cálculo y en abril de 2013 en el documento explicativo, mientras que la versión en inglés más actualizada data de abril de 2015.

Por estos motivos se decidió finalizar el inventario de nivel N2 y llevar a cabo otro también de nivel N1 con el Toolkit N1 en su versión en inglés de abril de 2015, utilizando las mismas fuentes de información que fueron usadas en el Toolkit N2. En primer lugar se realizó una comparación entre los inventarios N1 y N2 generados, y una final contra los resultados del inventario N1 ya existente, el cual se elaboró usando la versión en español del Toolkit de abril de 2011. Finalmente, se realizó una propuesta para el cálculo de la incertidumbre de los nuevos inventarios N1 y N2, utilizando la metodología descrita y empleada en el inventario de emisiones de México del año 2004.

METODOLOGÍA

La metodología para desarrollar el inventario de emisiones de mercurio en Costa Rica para el año 2014 se basó en el uso de una herramienta definida en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, creada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con la cual se puede estimar las emisiones de mercurio en un país. Esta herramienta permite tanto la elaboración de inventarios a nivel N1 como a nivel N2, la versión más actualizada del Toolkit N1 es la de idioma inglés de abril de 2015, mientras que la del Toolkit N2 es la de idioma inglés de noviembre de 2015. Más adelante se identificarán estas herramientas como Toolkit N1 cuando se refiera a la del nivel 1 y Toolkit N2 cuando se refiera a la del nivel 2.

El PNUMA define en los Toolkit de ambos niveles las actividades desarrolladas por el ser humano, que involucran directa o indirectamente la presencia y emisión de mercurio. A partir de esta información, se evaluaron las actividades desarrolladas en el país, en donde los cálculos utilizados para estimar las liberaciones del mercurio en las distintas matrices se basan en balances de masa del elemento. Las matrices propuestas por el PNUMA para la emisión y liberación del mercurio son cinco: aire, agua, suelo, productos y residuos (se indican algunos residuos que son de tratamiento específico), sobre la propor-

ción en que la emisión y liberación se distribuye entre estas según cada actividad es también definida en los Toolkit de ambos niveles.

1.1 Fuentes de información

Las actividades sugeridas por el Toolkit del PNUMA son divididas entre las presentes y ausentes en el país, de las cuales se mostrarán únicamente las presentes, así como también se detalla la fuente de información utilizada para los factores de emisión y los datos de actividad de las mismas. En la mayoría de los casos se utilizaron los factores de emisión propuestos por el Toolkit, excepto en los casos donde se indica. En el Anexo 1 se detallan las actividades que no están presentes en el país.

1. **Extracción, uso de combustibles y fuentes energéticas**

   1.1 Otros usos de carbón: La cantidad de carbón quemado se obtuvo del Balance Energético Nacional de 2014, preparado por la Sectorial de Energía (DSE) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). En el inventario N2 se utilizaron los factores de emisión propuestos en el Inventario de Liberaciones de México de 2004, ya que estos surgieron del análisis de carbón de dicho país a inicios de la década del 2000 (Mugica et al., 2003). Igualmente se utilizaron los datos del Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de mercurio en México del 2001, mientras que los factores del Toolkit se determinaron con mediciones de carbón europeo, estadounidense y asiático de la década de los 80 y 90.

   1.2 Extracción, refinamiento y uso de derivados del petróleo de origen mineral: La cantidad de derivados del petróleo quemado se obtuvo del Balance Energético Nacional del 2014, preparado por la DSE del MINAE.

   1.3 Biomasa quemada para producción de energía y calor: La cantidad de las distintas biomasas quemadas para la producción energética se obtuvieron del Balance Energético Nacional de 2014, preparado por la DSE del MINAE. Se utilizó para el inventario N2 los datos del Inventario de Liberaciones de México de 2004, debido a que los valores sugeridos por el Toolkit se basan en mediciones de biomasa hechas en Suecia y Dinamarca en la década de los 90.

   1.4 Producción de energía geotérmica: La cantidad de electricidad producida por energía geotérmica se obtuvo del Balance Energético Nacional de 2014, preparado por la DSE del MINAE. Se utilizó los factores de emisión propuestos en el Inventario de Liberaciones de México de 2004, ya que los sugeridos en el Toolkit se basaron en mediciones que no fueron validadas en 1977, por lo que el mismo Toolkit sugiere usar esos datos con precaución.

2. **Producción primaria de metales**

   2.1 Extracción de oro y plata por métodos de amalgamación con mercurio: La cantidad de oro producido se obtuvo del Departamento de Control Minero de la Dirección de Geología y Minas del MINAE.

   2.2 Extracción de oro y procesamiento inicial por métodos distintos a la amalgamación con mercurio: La cantidad de oro producido se obtuvo del Departamento de Control Minero de la Dirección de Geología y Minas del MINAE.

   Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio

   3.1 Producción de cemento: La cantidad de cemento producido se obtuvo del inventario de emisiones N1 ya existente. Para los factores de emisión del inventario N2 se utilizó medidas semestrales de gases de chimenea de las cementeras costarricenses, entre enero de 2013 y enero de 2016, para así estimar un factor de emisión que describa la actividad a nivel nacional.

3. **Productos de consumo con uso intencional de mercurio**

   4.1 Termómetros con mercurio: Se contabilizó la cantidad de termómetros importados al país según la Dirección General de Aduanas (DGA) del Ministerio de Hacienda, esto además de los

despachados a las diferentes áreas de salud de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) según su almacén central durante el 2014 y los almacenados en el mismo.

4.2 Conmutadores (switches) eléctricos y relés (relays) con mercurio: Se utilizó la población del país de 2014, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), así como el porcentaje de cobertura eléctrica para el 2014, según el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

4.3 Fuentes de luz con mercurio: Se contabilizó la cantidad de fluorescentes importados al país según la DGA del Ministerio de Hacienda, además de los gestionados y reciclados adecuadamente durante el 2014 en las empresas autorizadas.

4.4 Baterías con mercurio: Se contabilizó la cantidad de baterías importadas al país según la DGA del Ministerio de Hacienda, además de las gestionadas, recolectadas y recicladas adecuadamente durante el 2014 en las empresas autorizadas.

4.5 Poliuretano con catálisis de mercurio: Se utilizó la población del país de 2014, según el INEC, así como el porcentaje de cobertura eléctrica para el 2014, según el ICE.

4. Otros usos intencionales en productos o procesos

5.1 Amalgamas dentales con mercurio: Para el Toolkit N1 se utilizó la población de 2014 reportada por el INEC, también se tomó el factor de odontólogos por cada 1000 habitantes sugerido por el Toolkit N1 (0,829 19 odontólogos por cada 1000 habitantes), en lugar de la proporción nacional (1,006 05 odontólogos por cada 1000 habitantes). Para el Toolkit N2 se contabilizó la cantidad de amalgamas importadas al país según la DGA del Ministerio de Hacienda, además de las despachadas a las diferentes áreas de salud de la CCSS, según su almacén central durante el 2014 y las almacenadas en el mismo.

5.2 Manómetros e indicadores con mercurio: Se contabilizó la cantidad de esfigmomanómetros importados al país según la DGA del Ministerio de Hacienda. Se utilizó la población del país de 2014, según el INEC, así como el porcentaje de cobertura eléctrica para el 2014, según el ICE.

5.3 Sustancias químicas de laboratorio y equipo con mercurio: Para el Toolkit N1 se utilizó la población costarricense de 2014, según el INEC y el porcentaje de cobertura eléctrica para el 2014, según el ICE. Para el Toolkit N2 se contabilizó la cantidad de sustancias químicas de laboratorio importadas al país según la DGA del Ministerio de Hacienda, así como lo reportado por las universidades correspondientes.

5. Incineración de residuos sólidos

6.1 Quema informal de residuos sólidos: Se utilizó un informe de auditoría de la Contraloría General de la República (CGR) sobre residuos sólidos: generación, recolección y disposición. Con estos datos, se realizó una estimación utilizando la Encuesta Nacional de Hogares generada por el INEC que indicó la forma en que los costarricenses disponen de los residuos sólidos en caso de no recibir el servicio de recolección y su frecuencia entre los entrevistados.

6. Deposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales

7.1 Deposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios: Se utilizó un informe de auditoría de la Contraloría General de la República (CGR) sobre residuos sólidos: generación, recolección y disposición.

7.2 Deposición informal de residuos sólidos ordinarios: Se utilizó un informe de auditoría de la Contraloría General de la República (CGR) sobre residuos sólidos: generación, recolección y disposición. Con estos datos se realizó una estimación utilizando la Encuesta Nacional de Hogares generada por el INEC que indicó la forma en que los costarricenses disponen de los residuos sólidos en caso de no recibir el servicio de recolección y su frecuencia entre los entrevistados.

7.3 Sistemas de tratamiento de aguas residuales: Se utilizó una base de datos generada por la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud.

7. Crematorios y cementerios

8.1 Crematorios: La cantidad de personas cremadas se obtuvo del Inventario de Emisiones N1 ya existente.

8.2 Cementerios: Se obtuvo de la resta entre la cantidad de personas fallecidas durante el 2014, de acuerdo con el INEC y la cantidad de cremaciones.

1.2 Incertidumbre

Para el cálculo de la incertidumbre se utilizó la metodología expuesta en el inventario de emisiones de México de 2004 (Maíz, 2008), que consiste en la propagación de errores para combinar la dispersión planteada para cada factor de entrada, distribución y/o emisión, y la de los datos de actividad. Se utilizó la distribución normal logarítmica para establecer la distribución de probabilidad y con ello el cálculo de la incertidumbre, pues así es como mejor se describe el comportamiento de las sustancias químicas en el ambiente de acuerdo con lo establecido por el IPCC (2000). Las estimaciones siguen lo planteado por el IPCC (2000) y los autores Pulles, Kok y Quass (2006) y son aplicadas en el Inventario de Emisiones de México (Maíz, 2008).

El límite superior del intervalo de incertidumbre propuesto para cada fuente refleja el potencial de emisión máximo para cada una, al considerar errores en la estimación de su actividad, así como errores en el factor de entrada, distribución y/o emisión y al asignar una probabilidad de ocurrencia normal a dichos errores. De manera análoga, el límite inferior del intervalo indica la emisión mínima esperada de la fuente.

Para el caso de los datos de actividad, el valor encontrado en las fuentes de información se tomó como mejor aproximado (en adelante identificado como MAP), también se usó un porcentaje de desviación de este dato para tomar en consideración las desviaciones en la estimación de este valor, porcentajes ya definidos según Maíz (2008).

A la vez, para todos los factores de emisión se calculó un factor MAP como el considerado en función al conocimiento de la fuente específica, su tecnología, sistema de control de emisiones, prácticas de operación o cualquier otro parámetro señalado en los Toolkit del PNUMA, o bien, se realizó el estimado basado en conocimientos generales del sector y suposiciones acerca de la fuente por evaluar. Al presentarse en el Toolkit N1 un intervalo de factores, en la mayoría de los casos el factor de emisión que se utilizó para el cálculo (es decir, el factor MAP) fue una media aritmética entre los factores mínimos (representado por MIN) y máximos (representado por MAX).

Para el Toolkit N2 se presentan intervalos de factor de emisión para las actividades, por lo que el MAP fue estimado suponiendo una distribución normal logarítmica y asumiendo que la media de esta distribución está a la mitad del intervalo propuesto, según lo sugerido en cuanto a concentraciones de sustancias en el medio ambiente en IPCC (2000) y utilizado así por Maíz (2008). El cálculo del factor MAP se hizo con ayuda de la ecuación 1:

Donde:

$$F_{MAP} = e\ln F_{MIN} + \ln F_{MAX} - \ln F_{MIN} 2$$

- F_{MAP} (=) Factor mejor aproximado
- F_{MIN} (=) Factor mínimo del intervalo indicado por el Toolkit del PNUMA o cualquier otra fuente bibliográfica
- F_{MAX} (=) Factor máximo del intervalo indicado por el Toolkit del PNUMA o cualquier otra fuente bibliográfica

Para los factores de distribución de las entradas de mercurio en las distintas matrices no se consideraron intervalos de incertidumbre, ya que únicamente inciden sobre la forma en que las emisiones y liberaciones se distribuyen entre las mismas, además de que no se tiene un rango de distribución mínimo y máximo por matriz, sino un único valor. Estos factores sí pueden tener incertidumbre sobre el verdadero camino que toma el mercurio para ser liberado por la fuente entre alguna de las cinco matrices, pero no incide sobre la liberación de mercurio total.

Para las fuentes por considerar, el límite inferior y superior del intervalo de incertidumbre fueron calculados con las ecuaciones 2 y 3:

$$L_{INF} = e\ln_{AMAP} \times F_{MAP} - \ln A_{MAX} - F_{MAX} - \ln A_{MIN} \times F_{MIN} 12$$

$$L_{SUP} = e\ln_{AMAP} \times F_{MAP} + \ln_{AMAX} \times F_{MAX} - \ln_{AMIN} \times F_{MIN} 12$$

Donde:

- L_{INF} (=) Límite inferior del intervalo de incertidumbre
- L_{SUP} (=) Límite superior del intervalo de incertidumbre
- A_{MAP} (=) Actividad mejor aproximada de la fuente
- A_{MIN} (=) Actividad mínima de la fuente
- A_{MAX} (=) Actividad máxima de la fuente
- F_{AMP} (=) Factor de entrada, distribución y/o emisión mejor aproximado
- F_{MIN} (=) Factor de entrada, distribución y/o emisión mínimo
- F_{MAX} (=) Factor de entrada, distribución y/o emisión máximo

En algunos sectores se cambió la metodología para el cálculo de las emisiones entre los inventarios N1 y N2, por ejemplo; para el uso de amalgamas dentales con mercurio, las sustancias químicas con mercurio y la producción cementera. En el caso de la primera, se optó por contabilizar las amalgamas importadas y distribuidas en el Toolkit N2 en lugar de usar el cálculo poblacional propuesto por el Toolkit N1, que incluso utiliza un factor de odontólogos por cada mil habitantes muy distinto al de la realidad costarricense.

Para el caso de las sustancias químicas con mercurio también se cambió de un factor poblacional del Toolkit N1 a una contabilidad de las sustancias químicas importadas y las existentes en las universidades nacionales, logrando con esta metodología un resultado más preciso. En el caso de la producción cementera se cambió de factor internacional sugerido por el Toolkit N1 hacia mediciones locales en las industrias productoras del país en el Toolkit N2, produciendo esto una disminución muy grande en la contabilidad de emisión de mercurio referente a esta actividad.

De modo general, como se indicó anteriormente en el Toolkit N2 se cambió la metodología de cálculo del factor MAP pasando de una media aritmética, tal y como se usa en el Toolkit N1, a una media logarítmica, lo que genera reducciones en los factores de emisión y por ende de las emisiones de los sectores en los que no se cambió el dato de actividad a utilizar o los factores de emisión MIN y MAX entre inventarios.

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.1 Nivel N1

Los resultados generados al realizar el inventario de nivel N1 usando el Toolkit correspondiente se muestran en el Cuadro 2.1. Es posible observar que la emisión total para el 2014 en Costa Rica fue cuantificada en 3 500 kg de mercurio. La herramienta presenta algunas aclaraciones sobre la determinación de las emisiones totales, de modo que hace restas para evitar dobles conteos. Cabe mencionar que la columna de "entrada estimada de Hg" describe la cantidad de mercurio que está asociada a cada una de las actividades, pero únicamente si la suma de los porcentajes de distribución entre las matrices está en 100 % es entonces este valor coincidente con el reportado como emisión. En el caso de la actividad de los rellenos sanitarios o el uso de amalgamas dentales los porcentajes de distribución no suman 100 %, esto por mencionar un ejemplo. Es importante tomar en cuenta que las mismas condiciones se cumplen para el Toolkit N2.

En la Figura 2.1 es posible observar los sectores más importantes en cuanto la emisión total. El sector al que más se le atribuye emisiones de mercurio es a la quema informal de residuos, con casi un 31 % entre los totales. Esta actividad junto con la disposición informal de residuos sólidos, el uso de switches y relays eléctricos con mercurio, así como amalgamas mercuriales y termómetros son responsables de casi el 75 % del total del país. Inclusive, los residuos sólidos que no son dispuestos adecuadamente en los rellenos sanitarios son responsables de más del 45 % de la emisión total de mercurio en el país, lo que demuestra la importancia de mejorar el porcentaje de recolección y tratamiento adecuado de residuos sólidos en Costa Rica.

Cuadro 2.1. Resultados del inventario N1 de emisión total de cada sector presente y emisión de cada sector por matriz

Categoría de fuente	Entrada estimada de Hg, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
	Estándar estimado	Aire	Agua	Suelo	Sub-productos e impurezas	Residuos en general	Tratamiento de residuos de sectores específicos/ disposición
Consumo de energía							
Otros usos del carbón	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustión/uso de coque de petróleo y aceite pesado	5,4	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustión/uso de diésel, gasóleo, petróleo, keroseno, GLP y otros destilados ligeros y medios	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plantas de quema de biomasa y producción de calor	73,2	73,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Producción primaria de metales							
Extracción de oro por otros métodos que no sea la amalgamación de Hg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Extracción de oro con amalgamación de mercurio – con uso de retortas	70,0	14,0	28,0	28,0	0,0	0,0	0,0
Otros materiales de producción							
Producción de cemento	193,5	145,1	0,0	0,0	48,4	0,0	0,0
Uso y disposición de productos con contenido de mercurio							
Amalgama dental para rellenos (de “plata”)	558,3	11,2	185,3	26,8	20,1	93,8	93,8
Termómetros	414,3	41,4	124,3	0,0	0,0	248,6	0,0
Switches eléctricos y relays con mercurio	663,6	66,4	0,0	66,4	0,0	530,8	0,0
Fuentes de luz con mercurio	111,1	5,6	0,0	0,0	0,0	105,5	0,0
Baterías con mercurio	231,5	0,0	0,0	0,0	0,0	231,5	0,0
Poliuretano (PU, PUR) producido con catalizador de mercurio	142,2	14,2	7,1	0,0	0,0	120,9	0,0

Categoría de fuente	Entrada estimada de Hg, kg Hg/año	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
	Estándar estimado	Aire	Agua	Suelo	Sub-productos e impurezas	Residuos en general	Tratamiento de residuos de sectores específicos/ disposición
Manómetro para medir presión arterial (esfigmomanómetro de mercurio)	8,4	0,8	2,5	0,0	0,0	5,1	0,0
Manómetros y medidores de mercurio	23,7	2,4	7,1	0,0	0,0	14,2	0,0
Sustancias químicas de laboratorio	47,3	0,0	15,6	0,0	0,0	15,6	16,1
Otros equipos médicos y de laboratorio con mercurio	189,7	0,0	62,6	0,0	0,0	62,6	64,5
Incineración de residuos							
Quema de desechos a cielo abierto (en rellenos sanitarios o informalmente) *1	1 530,7	1 530,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Deposición de residuos/ relleno sanitario y tratamiento de aguas residuales							
Rellenos sanitarios controlados/ depósitos *1	4 747	47,5	0,5	0,0	-	-	-
Vertederos informales de residuos generales*1*2	726,1	72,6	72,6	580,9	-	-	-
Sistema de aguas residuales/ tratamiento *3	12,6	0,0	11,3	0,0	0,0	1,3	0,0
Crematorios y cementerios							
Crematorios	2,3	2,3	0,0	0,0	-	0,0	0,0
Cementerios	49,6	0,0	0,0	49,6	-	0,0	0,0
TOTAL de liberaciones cuantificadas *1*2*3*4	3 500	2 040,0	510,0	170,0	70,0	1 430,0	170,0

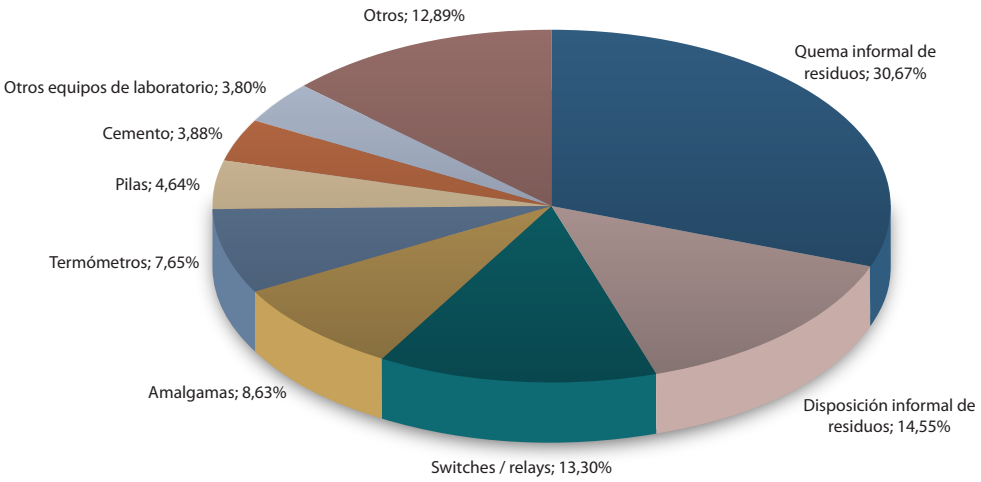


Figura 2.1. Emisión total de mercurio: inventario N1

El Toolkit N1 agrupa los productos con mercurio añadido en una única categoría para su análisis, incluyendo así los siguientes sectores: uso de termómetros clínicos y de laboratorio, uso de switches y relays eléctricos con mercurio, fluorescentes, pilas, productos con poliuretano, amalgamas, manómetros y esfigmomanómetros, sustancias químicas de laboratorio y otros equipos de laboratorio distintos de los termómetros. Este grupo es responsable de casi el 46 % de las emisiones, de modo que entre este grupo de productos con mercurio y las técnicas informales de disposición de residuos sólidos se suma más del 90 % del total. En la Figura 2.2 se puede observar los sectores más importantes en cuanto las emisiones al aire. La quema informal de residuos sólidos es la gran responsable de las emisiones, representando esta única actividad un 75 % del total emitido a la matriz e inclusive si se toma en cuenta la disposición informal de residuos, el porcentaje asciende a casi el 79 % del impacto total al aire. El segundo sector importante es la producción de cemento, con un 7 %. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba menos de un 7 % del impacto al aire.

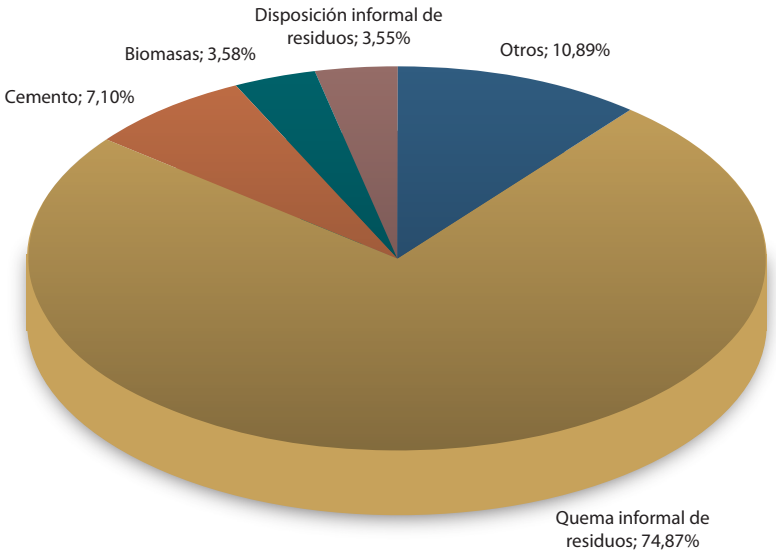


Figura 2.2. Emisión al aire: inventario N1

En la Figura 2.3 se puede observar los sectores más importantes en cuanto las liberaciones al agua. El uso de amalgamas dentales con mercurio es la actividad de mayor impacto a la matriz, con más del 35 %

del total. El uso de termómetros está en segundo lugar, con un 22,14 % del total. La disposición informal de residuos se encuentra en tercer lugar, con un 14,04 % del total. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba más del 78 % del impacto al agua, en vista que las amalgamas y los termómetros son responsables de casi el 58 % del mercurio que va a esta matriz.

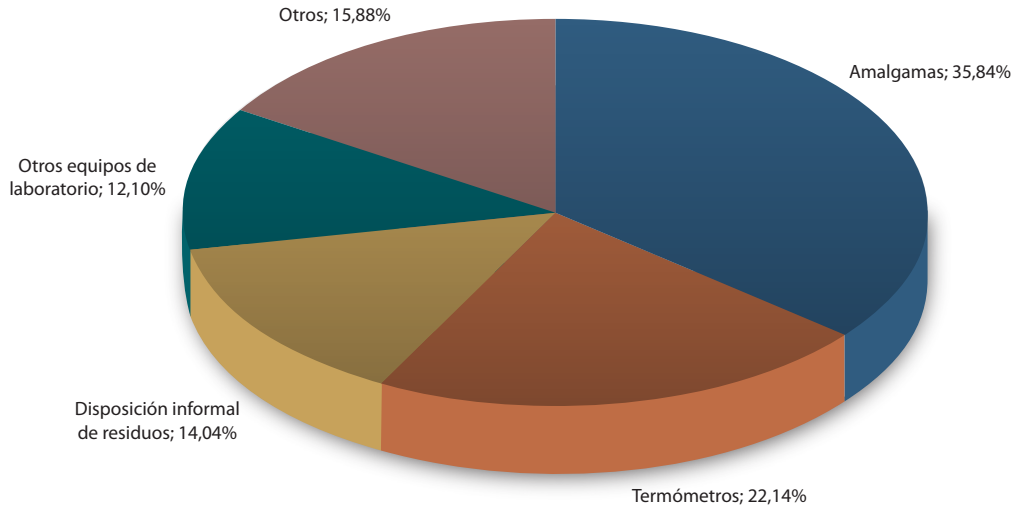


Figura 2.3. Emisión al agua: inventario N1

En la Figura 2.4 se puede observar los sectores más importantes en cuanto a las liberaciones al suelo. El primer lugar es la disposición informal de residuos sólidos, con casi un 77 % del total liberado en esta matriz. El segundo lugar es para el uso de switches y relays eléctricos con mercurio, con casi un 9 %. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba un 12,32 % del impacto al suelo.

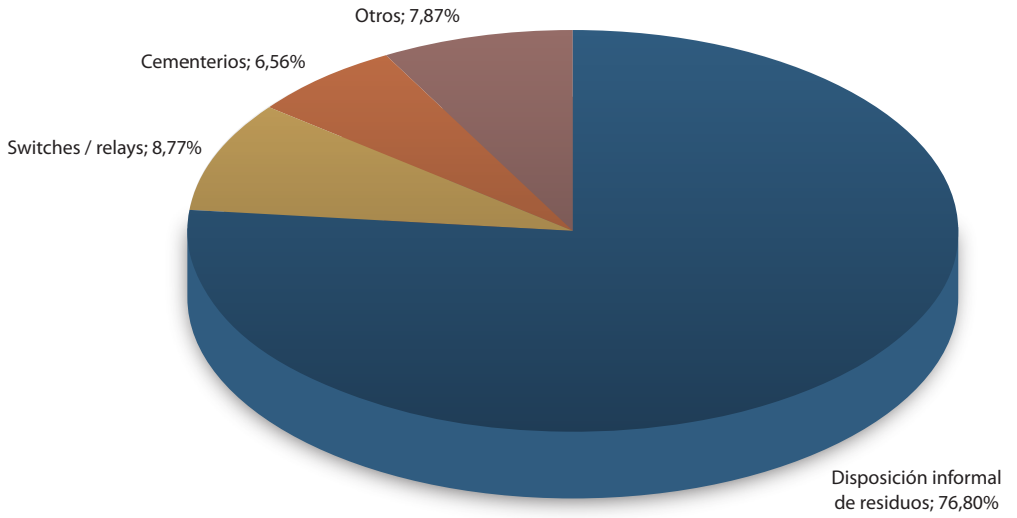


Figura 2.4. Emisión al suelo: inventario N1

En la Figura 2.5 se puede observar los sectores que considera el Toolkit en cuanto las emisiones en los productos. El primer lugar es la producción de cemento, con más del 70 % del total, mientras que el uso de amalgamas de mercurio representa poco menos del 30 %.

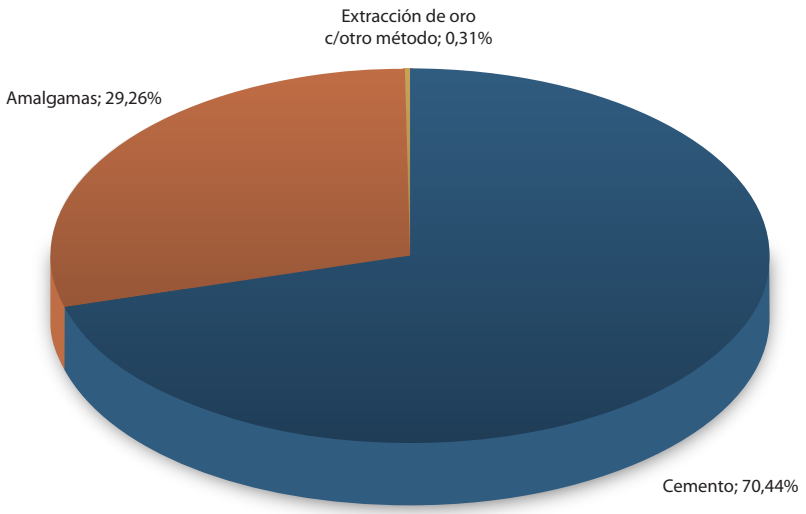


Figura 2.5. Emisión en los productos: inventario N1

En la Figura 2.6 se puede observar los sectores más importantes en cuanto las emisiones en los residuos. El primer lugar corresponde al uso de switches y relays eléctricos con mercurio, con más del 33 % del total liberado en esta matriz. El segundo lugar es para el uso de pilas con mercurio, con más del 14 %, un porcentaje muy similar al aporte de los termómetros en cuanto a emisión a la matriz.

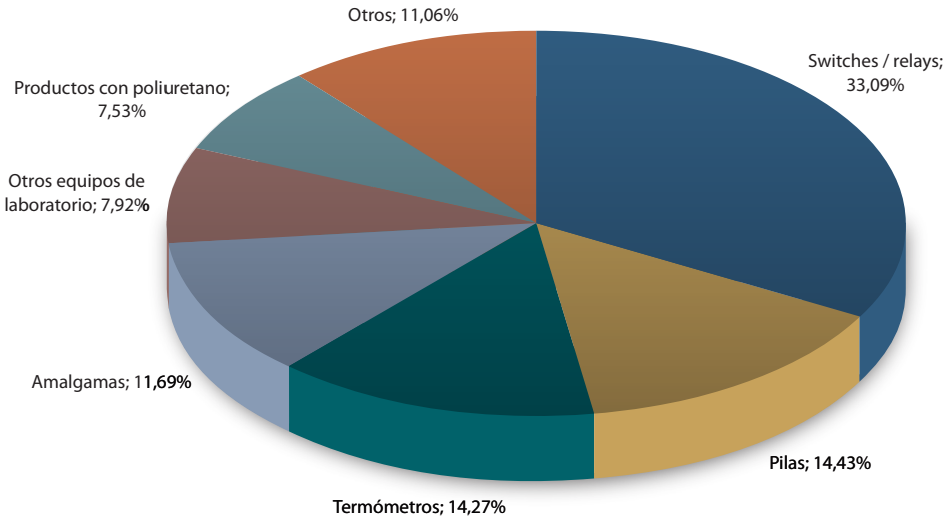


Figura 2.6. Emisión en los residuos: inventario N1

El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba un 99,92 % del impacto en los residuos, pues únicamente se emite mercurio en los residuos en la actividad de tratamiento de aguas residuales, mientras que todos los demás sectores están involucrados en este grupo definido.

En la Figura 2.7 se puede observar la distribución de las emisiones de acuerdo a la matriz. La matriz más impactada es la del aire, con más del 40 % del total de mercurio contabilizado para el 2014. En segundo lugar, con casi una tercera parte del total se encuentra la matriz de los residuos. Las matrices menos impactadas fueron las de suelo, agua y productos, esta última con apenas un 1,38 % del impacto total.

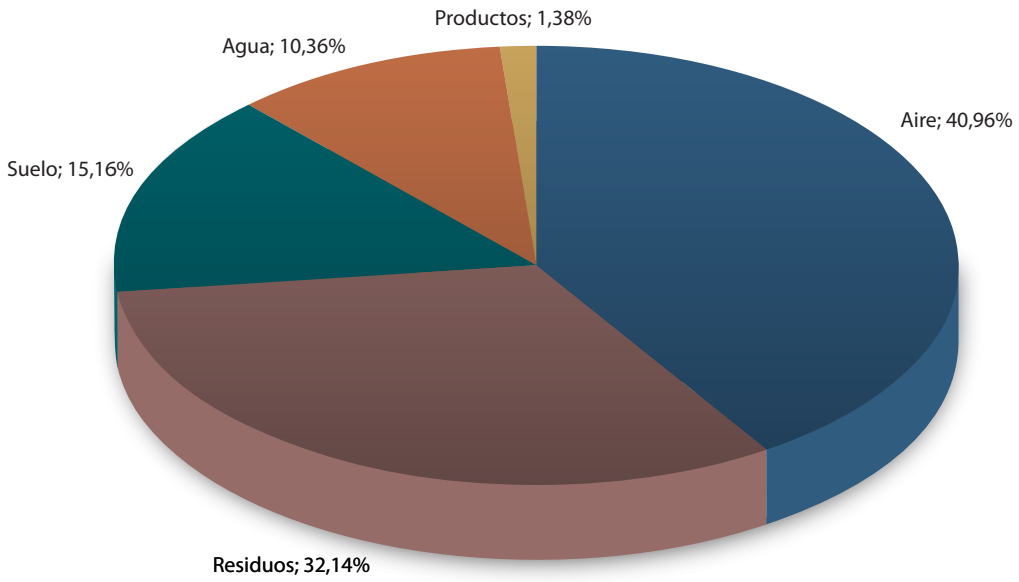


Figura 2.7. Emisiones totales por matriz: inventario N1

2.2 Nivel N2

Los resultados generados al realizar el inventario de nivel N2 usando el Toolkit correspondiente se muestran en el Cuadro 2.2. Es posible observar que la emisión total para el 2014 en Costa Rica, según este inventario, fue cuantificada como 4 492,13 kg de mercurio. Como se mencionó para el Toolkit N1, la herramienta resta una proporción de la contribución de ciertas actividades para no realizar un doble conteo de mercurio.

En la Figura 2.8 es posible observar los sectores más importantes en cuanto la emisión total. El sector al que más se le atribuyen emisiones de mercurio es a la extracción de oro usando mercurio para su amalgamación, con un 36,18 % del total. Esta actividad junto con la quema informal de residuos, el uso de amalgamas mercuriales, la disposición informal de residuos sólidos, así como switches y relays eléctricos con mercurio son responsables de más del 78 % del total del país.

Inclusive, los residuos sólidos que no son dispuestos adecuadamente en los rellenos sanitarios son responsables de más del 24 % de la emisión total de mercurio, lo que demuestra la importancia de mejorar el porcentaje de recolección y tratamiento adecuado de residuos sólidos en Costa Rica.

Cuadro 2.2. Resultados del inventario N2 de emisión total de cada sector presente y emisión de cada sector por matriz

Categoría de fuente	Entrada estimada de Hg	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
		Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Residuos en general	Tratamiento de residuos de sectores específicos/ disposición
Extracción y uso de combustibles / fuentes energéticas							
Otros usos del carbón	0,85	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Derivados del petróleo – extracción, refinamiento y uso	9,43	9,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plantas de quema de biomasa y producción de calor	6,34	6,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción de energía geotérmica	69,22	69,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Producción primaria de metales							
Extracción de oro (y plata) con procesos de amalgamación de mercurio	2100,00	420,00	840,00	840,00	0,00	0,00	0,00
Extracción de oro y procesamiento inicial por métodos que no sea la amalgamación de Hg	5,25	0,21	0,11	4,73	0,21	0,00	0,00
Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio							
Producción de cemento	13,26	7,95	0,00	0,00	2,65	0,00	2,65
Producción de productos con contenido de mercurio							
Termómetros con mercurio	339,13	33,91	101,74	0,00	-	203,48	0,00
Switches y relays eléctricos con mercurio	335,15	33,51	0,00	33,51	-	268,12	0,00
Fuentes de luz con mercurio	62,80	3,14	0,00	0,00	-	59,66	0,00
Baterías con mercurio	175,72	0,00	0,00	0,00	-	175,72	0,00
Uso de productos con poliuretano	105,98	10,60	5,30	0,00	-	90,09	0,00

Categoría de fuente	Entrada estimada de Hg	Liberaciones de mercurio estimadas, estimado estándar, kg Hg/año					
		Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Residuos en general	Tratamiento de residuos de sectores específicos/ disposición
Otros productos y procesos con uso intencional de mercurio							
Amalgama dental para rellenos (b	666,44	0,00	333,22	88,86	66,64	88,86	88,86
Manómetros y medidores de mercurio	31,76	3,18	9,53	0,00	0,00	19,05	0,00
Sustancias químicas de laboratorio y equipo con mercurio	378,20	0,00	124,80	0,00	0,00	124,80	128,59
Incineración de residuos *3							
Quema informal de residuos	968,12	968,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Deposición de residuos / relleno sanitario y tratamiento de aguas residuales							
Rellenos sanitarios controlados/ depósitos *3	30,32	30,02	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Vertederos informales de residuos generales *1*3	459,24	45,92	45,92	367,39	-	-	-
Sistemas de aguas residuales/ tratamiento *2	5,35	0,00	4,81	0,00	0,00	0,53	0,00
Crematorios y cementerios							
Crematorios	1,81	1,81	0,00	0,00	-	0,00	0,00
Cementerios	39,68	0,00	0,00	39,68	-	0,00	0,00
Total de liberaciones cuantificadas *1*2*3*4	4492,13	1644,23	1460,92	1006,78	69,50	1030,32	220,10

El Toolkit N2 agrupa los productos con mercurio añadido en una única categoría para su análisis, tal como lo hizo el Toolkit N1, incluyendo los siguientes sectores: uso de termómetros clínicos y de laboratorio, uso de switches y relays eléctricos con mercurio, fluorescentes, pilas, productos con poliuretano, amalgamas, manómetros y esfigmomanómetros, sustancias químicas de laboratorio y otros equipos de laboratorio distintos de los termómetros. Este grupo es responsable de más del 36 % de las emisiones, de modo que entre este grupo de productos con mercurio y las técnicas informales de disposición de residuos sólidos se suma más del 60 % del total.

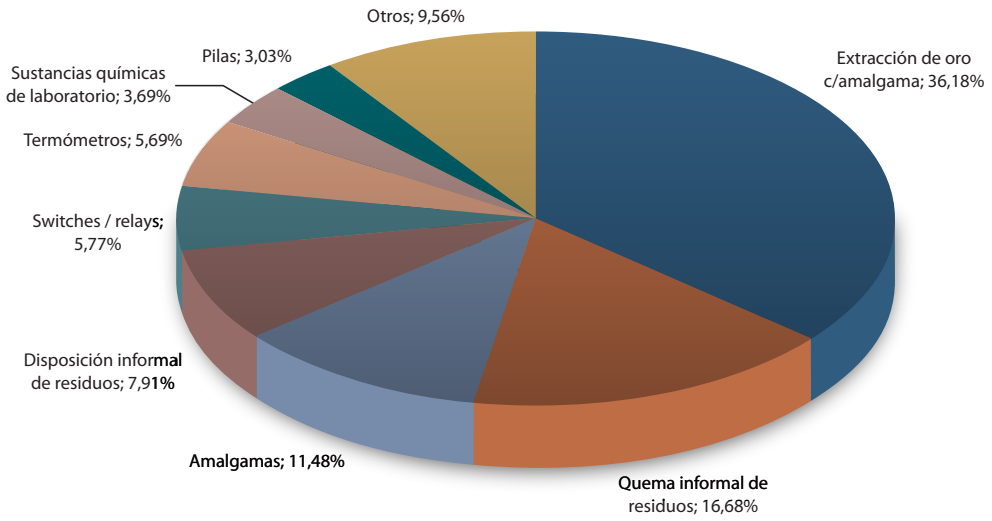


Figura 2.8. Emisión total de mercurio: inventario N2

En la Figura 2.9 se puede observar los sectores más importantes en cuanto las emisiones al aire. La quema informal de residuos sólidos es la gran responsable de las emisiones en esta matriz, pues representa casi un 60 % de contaminación al aire e inclusive si se toma en cuenta la disposición informal de residuos, el porcentaje de importancia asciende a casi el 62 % del impacto total. El segundo sector es la extracción de oro con el uso de mercurio para amalgamar, con más del 25 %. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba más del 5 % del impacto a la matriz.

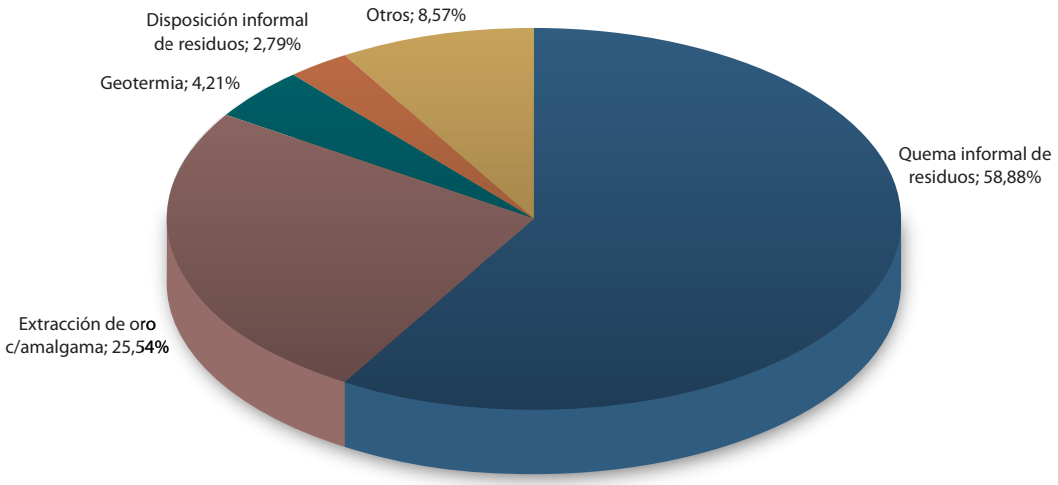


Figura 2.9. Emisión al aire: inventario N2

En la Figura 2.10 se puede observar los sectores más importantes en cuanto las liberaciones al agua. La extracción de oro de manera artesanal con el uso de mercurio para amalgamar es la actividad de mayor impacto al agua, con más del 57 % del total. El uso de amalgamas dentales con mercurio se coloca en la segunda posición, con casi un 23 % de la totalidad de mercurio que es liberado a la matriz. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba más del 39 % del impacto, en vista que las amalgamas y los termómetros son responsables de casi el 30 % del mercurio que se dirige al agua.

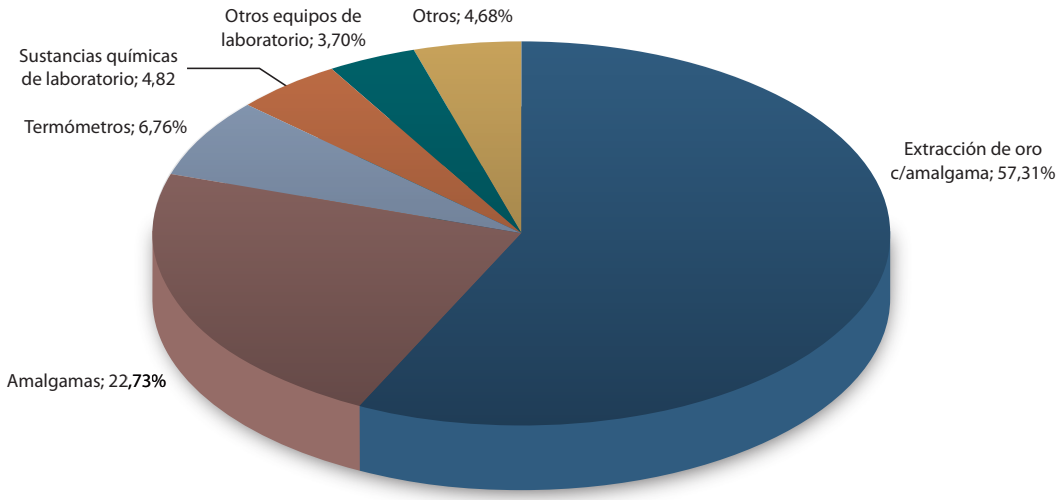


Figura 2.10. Emisión al agua: inventario N2

En la Figura 2.11 se puede observar los sectores más importantes en cuanto a las liberaciones al suelo. El primer lugar corresponde a la extracción de oro de modo artesanal con el uso del mercurio para amalgamar, con más del 61 % de las liberaciones totales a la matriz. El segundo lugar es para la disposición informal de residuos sólidos, con casi un 27 %. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba un 8,91 % del impacto al suelo.

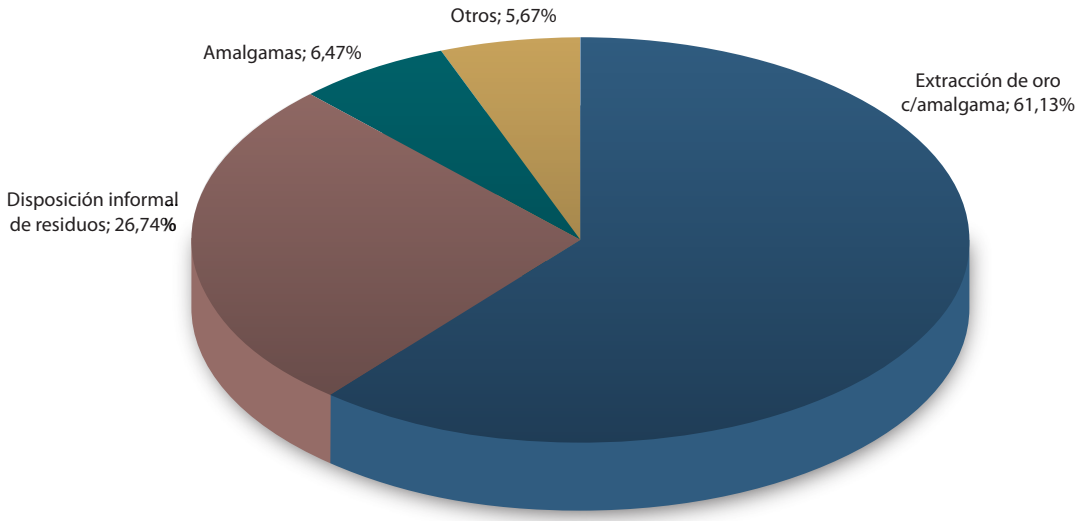


Figura 2.11. Emisión al suelo: inventario N2

En la Figura 2.12 se puede observar los sectores que considera el Toolkit en cuanto las emisiones en los productos. El primer lugar es el uso de amalgamas de mercurio, que representa poco menos del 96 % del total, mientras que la producción de cemento apenas alcanza el 3,81 % de la emisión reportada en los productos.

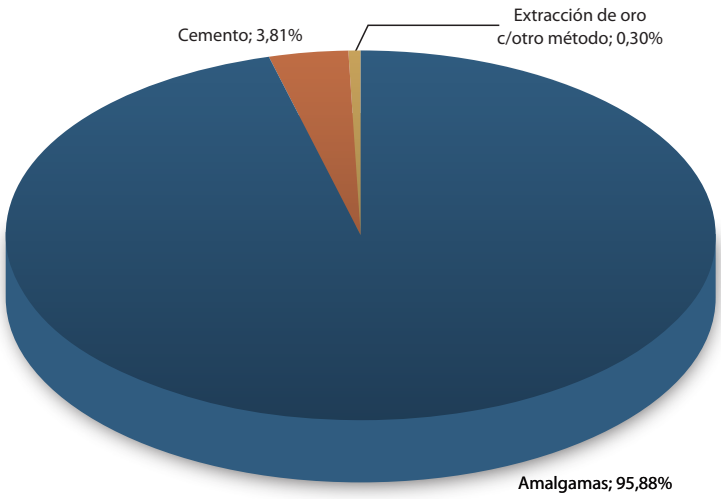


Figura 2.12. Emisión en los productos: inventario N2

En la Figura 2.13 se puede observar los sectores más importantes en cuanto las emisiones en los residuos. El primer lugar corresponde al uso de switches y relays eléctricos con mercurio, con más del 21 % del total liberado en esta matriz. El segundo lugar es para el uso de termómetros con mercurio, con más del 15 %, lo cual es un porcentaje muy similar al aporte de las amalgamas dentales y las pilas con mercurio. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba un 99,74 % del impacto en los residuos, ya que únicamente se emite mercurio en los residuos en la actividad de tratamiento de aguas residuales y producción de cemento, mientras que todos los demás sectores están involucrados en este grupo definido.

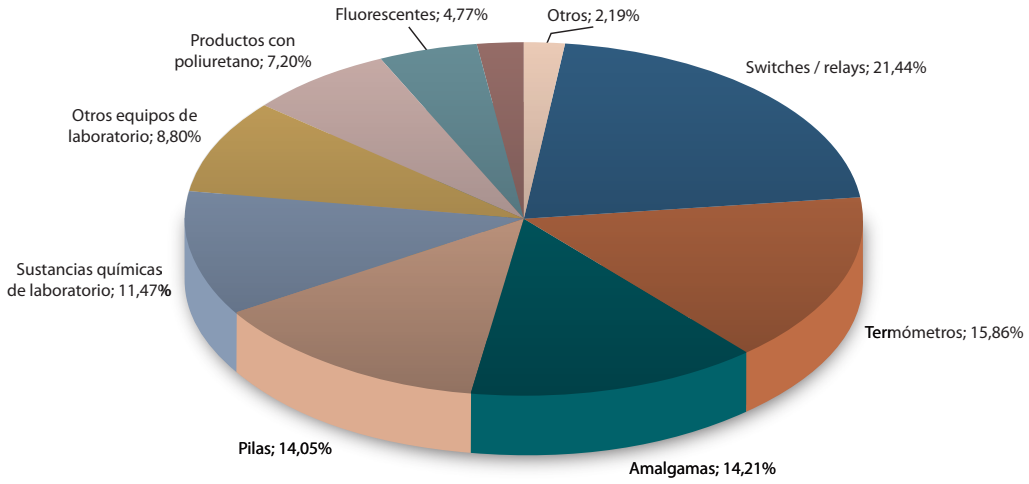


Figura 2.13. Emisión en los productos: inventario N2

En la Figura 2.14 se puede observar la distribución de las emisiones de acuerdo a la matriz. La matriz más impactada es la del aire, con casi el 29 % del total de mercurio contabilizado para el 2014. En segundo lugar, más de una cuarta parte del total está en la matriz de agua. Las matrices menos impactadas fueron las de suelo, residuos y productos, esta última con apenas un 1,20 % del impacto total.

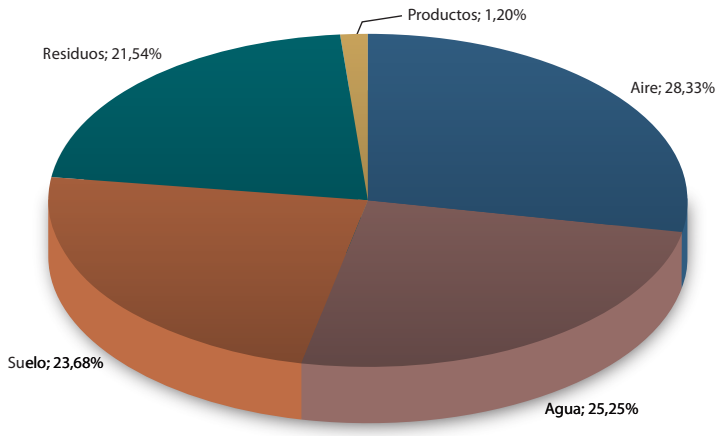


Figura 2.14. Emisiones totales por matriz: inventario N2

2.3 Comparación entre los inventarios generados

Una vez completados y presentados los resultados de los inventarios de nivel N1 y N2 es posible hacer una comparación de los mismos. En la Figura 2.15 es posible observar la comparación entre los sectores más importantes del inventario N2 respecto los resultados del inventario N1. La actividad de extracción de oro con amalgamación con mercurio representa la mayor emisión de acuerdo con el inventario N2, caso opuesto al resultado obtenido en el inventario N1, en el cual esta actividad no figura entre las más relevantes. Esto se da debido a que el factor de emisión en el inventario N1 es de 0,1 g Hg (g oro)$^{-1}$, mientras que en el N2 es de 3 g Hg (g oro)$^{-1}$, lo que da como resultado un incremento en las emisiones asociadas a la actividad.

Adicionalmente, como parte de la investigación de Murillo (2016), se estimó un factor de emisión nacional para la actividad minera de 3,8 g Hg (g oro)$^{-1}$ emitido al ambiente. El factor obtenido es ligeramente mayor que el sugerido en el inventario N2, que es de 3 g Hg (g oro)$^{-1}$. No obstante, este factor no fue utilizado ya que es necesario realizar más mediciones y pruebas para lograr la validación del mismo.

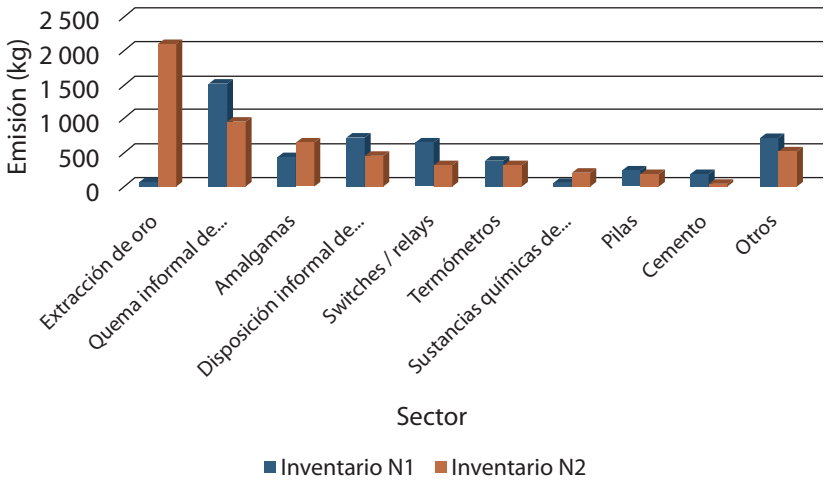


Figura 2.15. Comparación de la emisión total: inventarios N1 y N2

En la Figura 2.16 se comparan los sectores más importantes para la emisión al aire. El método de extracción de oro con amalgamación con mercurio sufrió un aumento significativo en el inventario N2

respecto al N1 en cuanto a su emisión, de acuerdo con el cambio en el factor de emisión explicado. Un caso similar sufrió la producción cementera, solo que esta vez aparece en cuanto a una reducción del inventario N2 respecto al N1. En el caso de la producción de electricidad con energía geotérmica, en el inventario N1 esta actividad no se cuantifica como emisión, mientras que en el N2 sí se calcula.

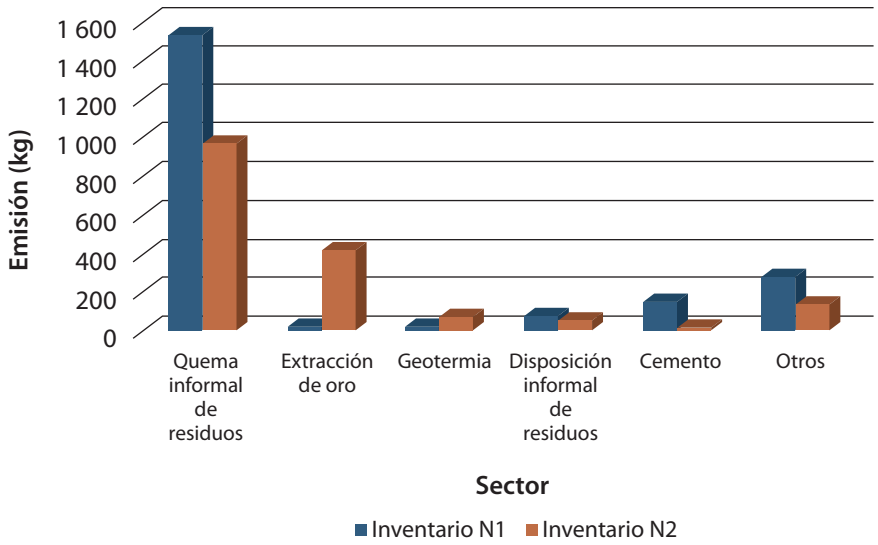


Figura 2.16. Comparación de la emisión al aire: inventarios N1 y N2

En la Figura 2.17 se comparan los sectores más importantes para la emisión al agua. El método de extracción de oro con amalgamación con mercurio sufrió un aumento significativo en el inventario N2 respecto al N1 en cuanto a su emisión, de acuerdo con el cambio en el factor de emisión explicado. Un caso similar ocurre para el uso de amalgamas dentales con mercurio, que ocupa el primer lugar en el inventario N1 y aumenta su emisión asociada al N2, a diferencia de que en este se coloca en segundo lugar en cuanto a impacto. Las emisiones por sustancias químicas de laboratorio también aumentaron en el inventario N2 respecto al N1, por el cambio en la metodología de cuantificación.

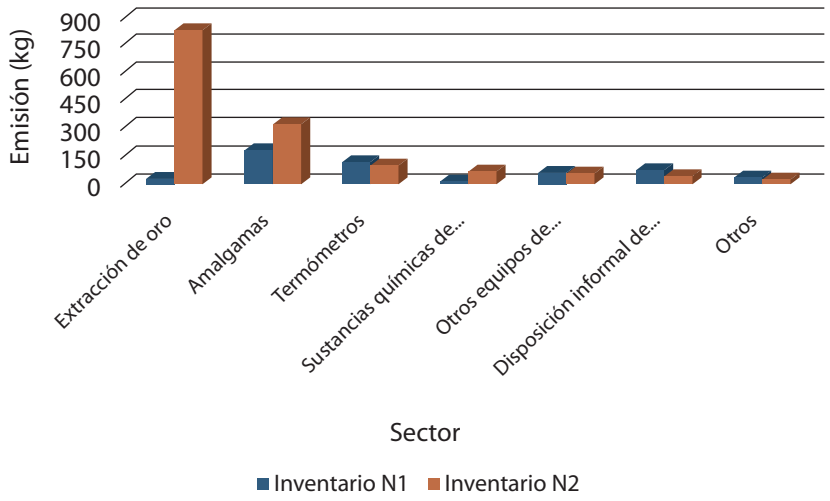


Figura 2.17. Comparación de la emisión al agua: inventarios N1 y N2

En la Figura 2.18 se comparan los sectores más importantes para la emisión al suelo. El método de extracción de oro con amalgamación con mercurio sufrió un aumento significativo en el inventario N2 respecto al N1 en cuanto a su emisión, de acuerdo con el cambio en el factor de emisión explicado. Un caso similar ocurre para el uso de amalgamas dentales con mercurio, ya que sí aumentó la cantidad emitida de la cual es responsable en el inventario N2, en comparación a lo señalado en el N1.

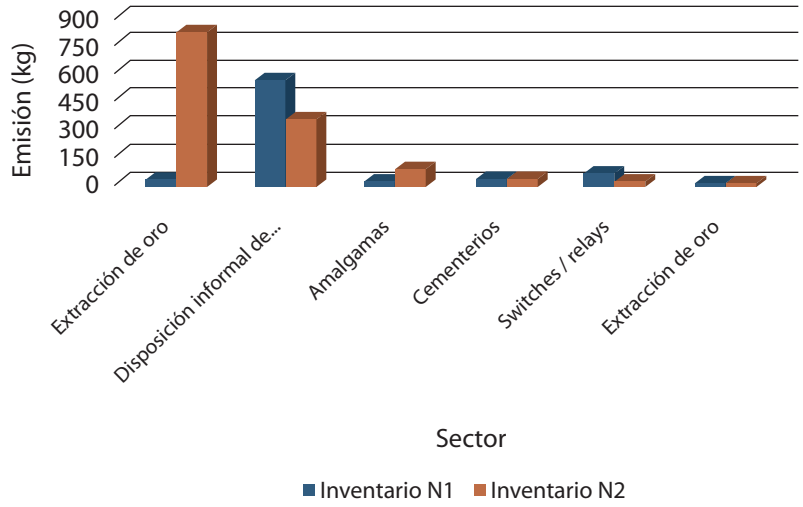


Figura 2.18. Comparación de la emisión al suelo: inventarios N1 y N2

En la Figura 2.19 se comparan los sectores más importantes para la emisión en los productos. Para los sectores representados se cambió la metodología de cálculo de la emisión en el inventario N2 respecto al N1, lo que resultó en un aumento en la emisión asociada al uso de amalgamas, mientras que en la actividad cementera se presentó una reducción significativa en la emisión reportada en el inventario N2.

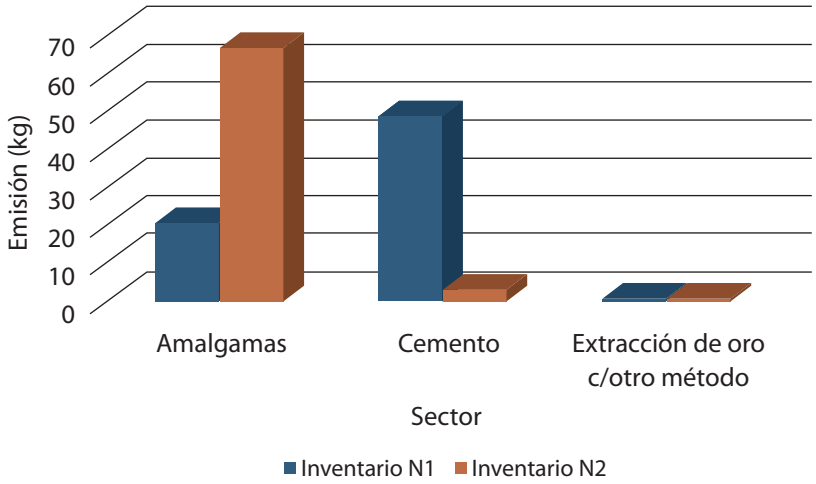


Figura 2.19. Comparación de la emisión en los productos: inventarios N1 y N2

En la Figura 2.20 se comparan los sectores más importantes para la emisión en los residuos. El uso de amalgamas dentales emitió mercurio en los residuos en cantidades similares en ambos inventarios, esto a pesar del cambio de metodología impulsado en el inventario N2. El cálculo que se hizo para la emisión correspondiente a sustancias químicas con mercurio sí denotó un aumento para el inventario N2 respecto del N1, debido al cambio en la metodología para la estimación del dato de esta actividad, pues se pasa

de usar la población del país a un inventario de las sustancias con el elemento químico presentes en el territorio nacional.

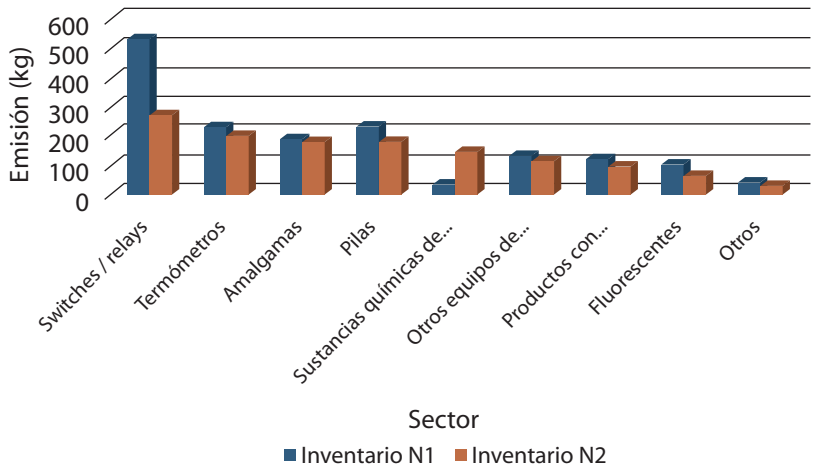


Figura 2.20. Comparación de la emisión en los residuos: inventarios N1 y N2

En la Figura 2.21 se comparan las emisiones calculadas para las matrices y la emisión total de ambos inventarios. La matriz más importante para ambos inventarios fue la de aire. En el inventario N1 la segunda más importante fue la matriz de los residuos, mientras que en el N2 fue la matriz de agua. En el caso de la matriz de agua y suelo, se registró un aumento en cuanto a su importancia en el inventario N2 respecto al N1, ocasionado por el aumento en el mercurio emitido a estas matrices por la minería de oro artesanal.

La matriz de los productos se mantuvo bastante similar en cuanto a emisiones en ambos inventarios. Además, la emisión total aumentó 996,27 kg en el inventario N2 respecto al N1, lo que deja en evidencia que la estimación del mercurio asociado a la actividad minera se mostró con mucha relevancia al calcularse un factor de emisión local en el inventario N2. Este aumento representa un 28,5 % en el cálculo de la emisión total, esto demuestra la poca valoración cometida en el inventario N1 sobre el uso de mercurio en la extracción de oro, así como la nula posibilidad de cuantificar emisiones a la actividad de energía geotérmica.

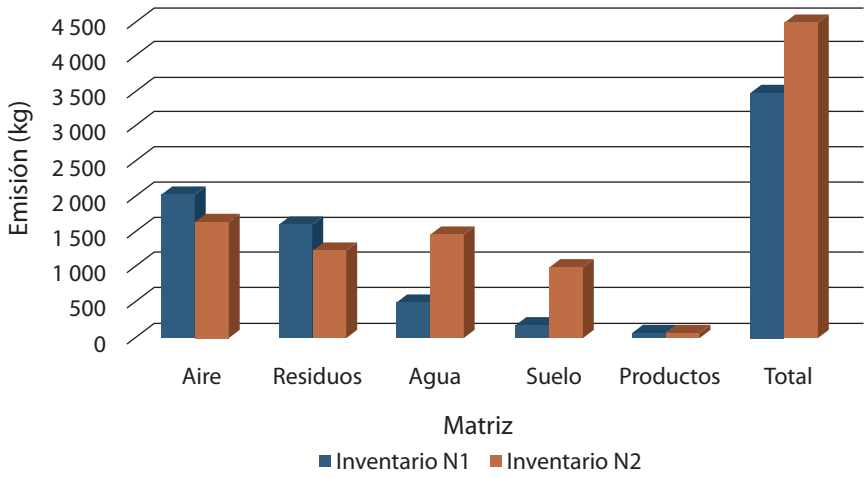


Figura 2.21. Comparación de la emisión total y las matrices: inventarios N1 y N2

2.4 Análisis de incertidumbre

En el Cuadro 2.3 se encuentra el cálculo de la incertidumbre para ambos inventarios. Es posible observar cómo para cada actividad, en ambos inventarios, se reporta la emisión total de mercurio y los límites inferior y superior entre los cuales oscila este valor.

Según lo observado, para el inventario N1 el rango de incertidumbre es de 4 781,34 kg Hg; la emisión reportada es mayor que el límite inferior de la incertidumbre en 1 575,90 kg Hg y menor que el límite superior de la incertidumbre en 3 205,44 kg Hg. En el caso del inventario N2, los datos son mayores: el rango de incertidumbre es de 6 790,05 kg Hg; la emisión reportada es mayor que el límite inferior de la incertidumbre en 2 058,37 kg Hg y menor que el límite superior de la incertidumbre en 4 731,68 kg Hg.

El rango del inventario N2 es mayor que el del N1 por 2 008,71 kg Hg, lo que representa un 42,01 %, es decir, su variación es muy significativa. De igual manera, el límite inferior de incertidumbre del inventario N2 es menor que el del N1 por 513,80 kg Hg y el límite superior de la incertidumbre del inventario N2 es mayor que el del N1 por 2 522,51 kg Hg, lo que demuestra que, para el inventario N2, la emisión total reportada aumentó un tanto, mientras que los límites de la incertidumbre se ensancharon hacia ambos lados, respecto a los límites del inventario N1.

Cuadro 2.3. Comparación entre la emisión total y los límites de incertidumbre de cada sector considerado en los inventarios de nivel N1 y N2

Sector	INVENTARIO N1			INVENTARIO N2		
	Emisión total (kg Hg)	Incertidumbre		Emisión total (kg Hg)	Incertidumbre	
		L inf (kg Hg)	L sup (kg Hg)		L inf (kg Hg)	L sup (kg Hg)
Carbón	0,44	0,21	0,90	0,85	0,37	1,97
Derivados del petróleo	10,97	5,32	22,59	6,31	3,06	12,99
Coque de petróleo	5,44	2,64	11,20	3,13	1,52	6,44
Biomasas	73,19	31,49	170,10	6,34	1,40	28,66
Geotermia	0,00	0,00	0,00	69,22	8,44	567,87
Extracción de oro c/ amalgama	70,00	15,49	316,27	2 100,00	903,51	4 880,94
Extracción de oro c/ otros métodos	5,25	1,64	16,76	5,25	1,64	16,76
Cemento	193,52	73,47	509,73	13,26	2,34	75,25
Termómetros	381,63	232,43	626,59	330,50	201,29	542,64
Termómetros laboratorio	32,76	15,62	68,69	8,63	5,54	13,45
Switches/relays	663,56	317,76	1 385,67	335,15	160,49	699,87
Fluorescentes	111,02	62,23	198,07	62,80	28,82	136,87
Pilas	231,54	141,02	380,16	175,72	107,02	288,51
Productos con poliuretano	142,19	88,71	227,92	105,98	66,12	169,88
Amalgamas	430,93	286,74	647,64	666,44	528,80	839,90
Esfigmomanómetros	8,48	6,70	10,74	8,18	6,46	10,35
Manómetros	23,70	22,20	25,29	23,58	22,09	25,17
Sustancias químicas de laboratorio	47,40	34,27	65,56	214,01	173,89	263,38
Otros equipos de laboratorio	189,59	137,07	262,22	164,19	118,71	227,09
Rellenos sanitarios	47,94	23,28	98,76	30,32	14,72	62,46
Quema informal de residuos	1 530,73	658,59	3 557,81	968,12	416,53	2 250,16
Disposición informal de residuos	726,12	312,41	1 687,68	459,24	197,58	1 067,38
Agua residual	12,55	4,42	35,63	5,35	1,88	15,18
Crematorios	2,26	1,43	3,57	1,81	1,14	2,86
Cementerios	49,60	32,91	74,76	39,68	26,33	59,81
Total	**3 495,86**	**1 919,96**	**6 701,30**	**4 492,13**	**2 433,76**	**9 223,81**

2.5 Comparación entre inventario nivel N1 (2015) y el inventario N1 (2011)

Completado y presentado el inventario de nivel N1 (2015), es posible hacer una comparación contra el inventario N1 (2011). Los años indicados entre paréntesis corresponden al año de las versiones de los Toolkit utilizados, y no al año en que se desarrollaron los mismos. Se destaca que las diferencias entre estos, además de las versiones de la hoja de cálculo usada, son algunos de los datos de actividad utilizados, pues en el inventario N1 (2015) se utilizó información que en algunos casos no había sido publicada cuando se realizó el inventario N1 (2011).

En el Cuadro 2.4 se detalla la emisión total generada por cada uno de los sectores considerados en los inventarios y su peso relativo en la emisión total. Es importante señalar que el Toolkit N1 resta en los totales reportados ciertas proporciones para evitar dobles contabilidades, lo cual se hace únicamente en la fila de los totales, sin alterar las emisiones estimadas para cada una de las actividades por separado.

En la Figura 2.22 se observa la comparación entre los sectores más importantes del Toolkit (2015) respecto al Toolkit (2011). La quema informal de residuos es el sector más importante del Toolkit (2015), mientras que, en el Toolkit (2011), no fue considerado para contabilizar la emisión asociada. También en el Toolkit (2015) el uso de termómetros ocupó el quinto lugar en importancia; mientras que, en el Toolkit (2011), es un sector de muy poca importancia con muy pocos termómetros reportados en ese estudio.

La emisión generada por la actividad cementera utilizó los mismos datos de actividad. Sin embargo, el Toolkit (2011) reporta una emisión mayor puesto que la hoja de cálculo utilizó un factor de emisión mayor que el del Toolkit (2015). No se grafica la contabilidad de los otros sectores no representados individualmente en este gráfico, porque el término de aguas residuales del Toolkit (2011) haría aumentar significativamente la escala del gráfico y se perdería la posibilidad de hacer una comparación visual entre los resultados de los otros sectores.

Cuadro 2.4. Comparación entre la emisión total y la importancia relativa de cada sector considerado en los inventarios Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

Sector	Toolkit (2015)		Toolkit (2011)	
	Emisión total (kg Hg)	Porcentaje de importancia	Emisión total (kg Hg)	Porcentaje de importancia
Carbón	0,44	0,01%	8,04	0,07%
Derivados del petróleo	10,97	0,22%	13,69	0,11%
Coque de petróleo	5,44	0,11%	0,44	0,00%
Gas natural	0,00	0,00%	0,06	0,00%
Biomasas	73,19	1,47%	87,50	0,71%
Extracción de oro c/amalgama	70,00	1,40%	0,70	0,01%
Extracción de oro c/otros métodos	5,25	0,11%	5,25	0,04%
Cemento	193,52	3,88%	409,37	3,32%
Termómetros	381,63	7,65%	0,86	0,01%
Termómetros laboratorio	32,76	0,66%	2,36	0,02%
Switches/relays	663,56	13,30%	691,29	5,60%
Fluorescentes	111,02	2,22%	117,32	0,95%
Pilas	231,54	4,64%	109,08	0,88%
Productos con poliuretano	142,19	2,85%	0,00	0,00%
Amalgamas	430,93	8,63%	571,79	4,63%
Esfigmomanómetros	8,48	0,17%	518,16	4,20%
Manómetros	23,70	0,47%	24,52	0,20%
Sustancias químicas de laboratorio	47,40	0,95%	49,38	0,40%
Otros equipos de laboratorio	189,59	3,80%	197,51	1,60%
Rellenos sanitarios	47,94	0,96%	43,73	0,35%
Quema informal de residuos	1 530,73	30,67%	0,00	0,00%
Disposición informal de residuos	726,12	14,55%	609,92	4,94%
Agua residual	12,55	0,25%	8 837,58	71,57%
Crematorios	2,26	0,05%	2,26	0,02%
Cementerios	49,60	0,99%	46,86	0,38%
Total	**3 495,86**	**100,00%**	**3 519,29**	**100,00%**

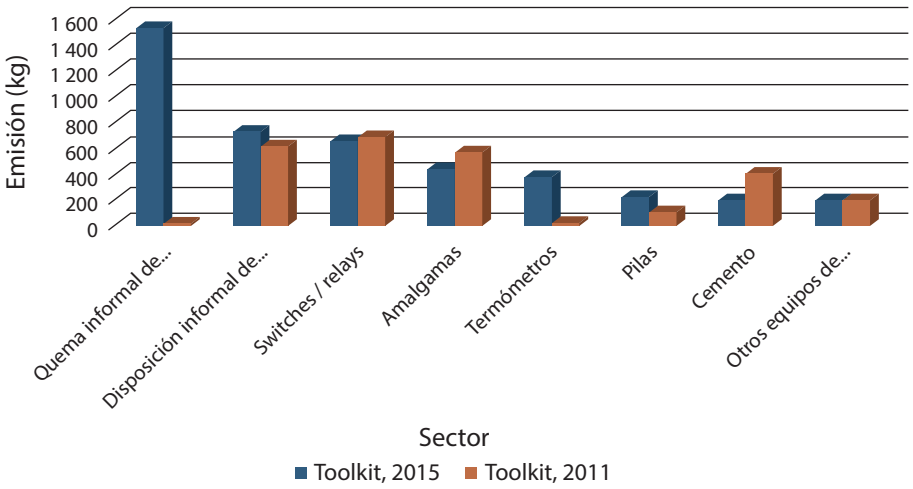


Figura 2.22. Comparación de la emisión total: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

En la Figura 2.23 se comparan los sectores más importantes para la emisión al aire. Nuevamente, se observa cómo el sector más impactante, según el Toolkit (2015), fue la quema informal de residuos; mientras que el Toolkit (2011) no consideró esta actividad. Además, también se observa la variación en la emisión de la actividad cementera, relacionada con los factores de emisión utilizados en cada una de las hojas de cálculo, no en los datos de actividad.

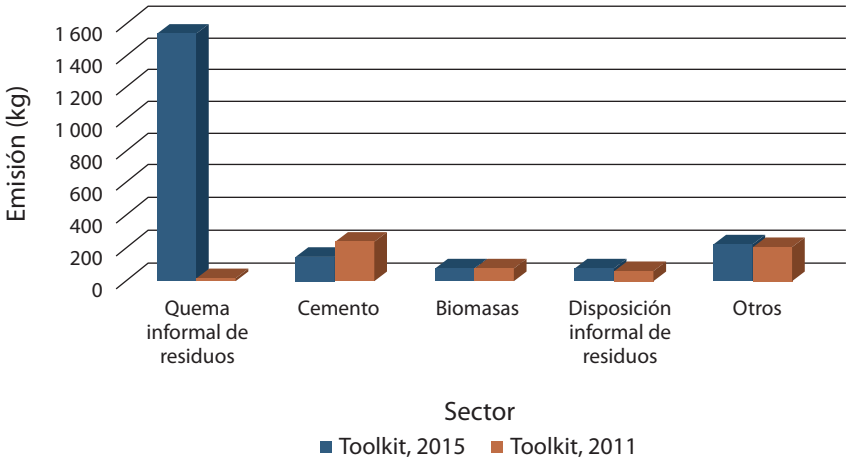


Figura 2.23. Comparación de la emisión al aire: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

En la Figura 2.24 se comparan los sectores más importantes para la emisión al agua. Las variaciones más notorias en las emisiones reportadas están en el uso de termómetros con mercurio. En el Toolkit (2011) se tomó en cuenta una cantidad mucho menor de termómetros que en el Toolkit (2015). Caso contrario sucede con los esfigmomanómetros, donde en el Toolkit (2015) se consideró una cantidad mucho menor de estos instrumentos respecto al Toolkit (2011). Nuevamente, no se graficó el sector de aguas residuales, pues en el Toolkit (2011) es un sector de muchísima emisión asociada y no permitiría apreciar visualmente en la gráfica las diferencias entre los otros sectores.

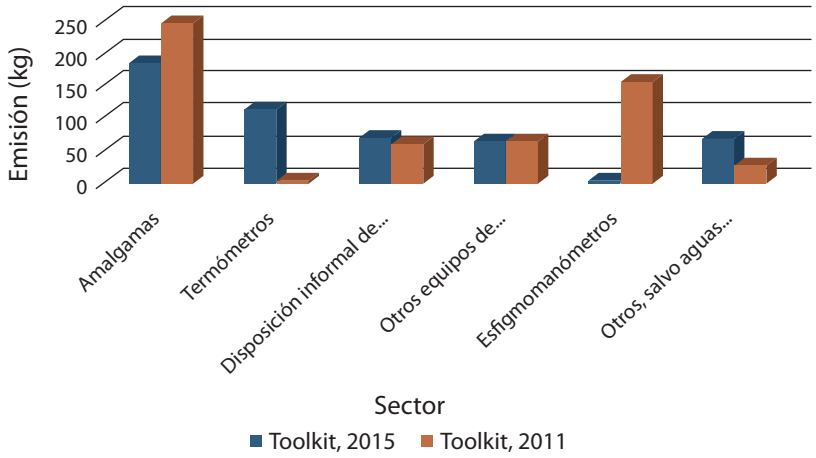


Figura 2.24. Comparación de la emisión al agua: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

En la Figura 2.25 se comparan los sectores más importantes para la emisión al suelo. En esta matriz las emisiones sí fueron bastante parejas entre los sectores implicados en ambos inventarios. La mayor diferencia se da entre los reportes de emisiones al suelo en la práctica de extracción de oro artesanal con mercurio, pues en el Toolkit (2015) fue de 28 kg y en el Toolkit (2011) apenas de 0,14 kg.

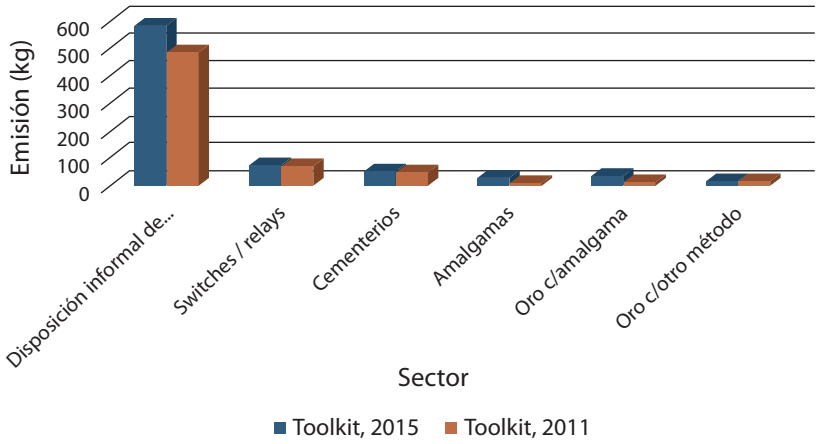


Figura 2.25. Comparación de la emisión al suelo: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

En la Figura 2.26 se comparan los sectores más importantes para la emisión en los productos. Para los sectores representados, la variación más importante radicó en lo emitido por la actividad cementera, que fue mayor en el Toolkit (2011) por los factores de emisión utilizados en esta hoja de cálculo.

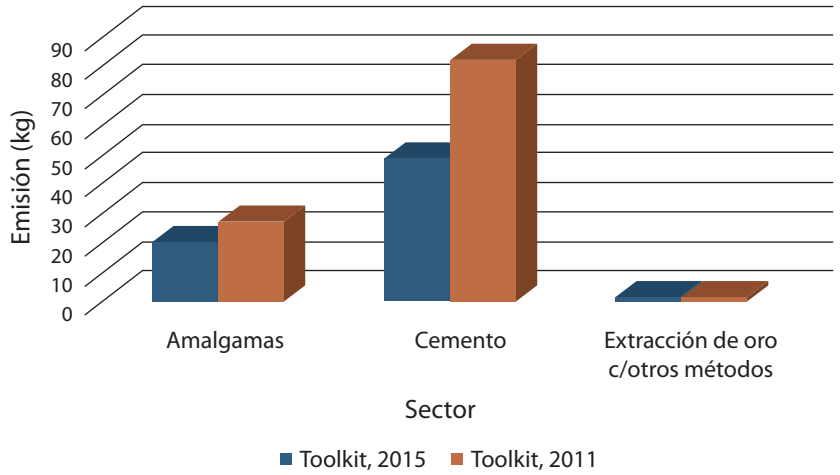


Figura 2.26. Comparación de la emisión en los productos: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

En la Figura 2.27 se comparan los sectores más importantes para la emisión en los residuos. Las grandes diferencias se dieron en los termómetros, debido a los pocos contabilizados para el Toolkit (2011); los productos con poliuretano, actividad no contemplada en el desarrollo del Toolkit (2011), y el uso de esfigmomanómetros, dado que en el Toolkit (2015) no se reportaron tantos como en el Toolkit (2011). Nuevamente, no se incluye una gráfica para la contribución por aguas residuales, para no perder la posibilidad de comparar visualmente los otros inventarios.

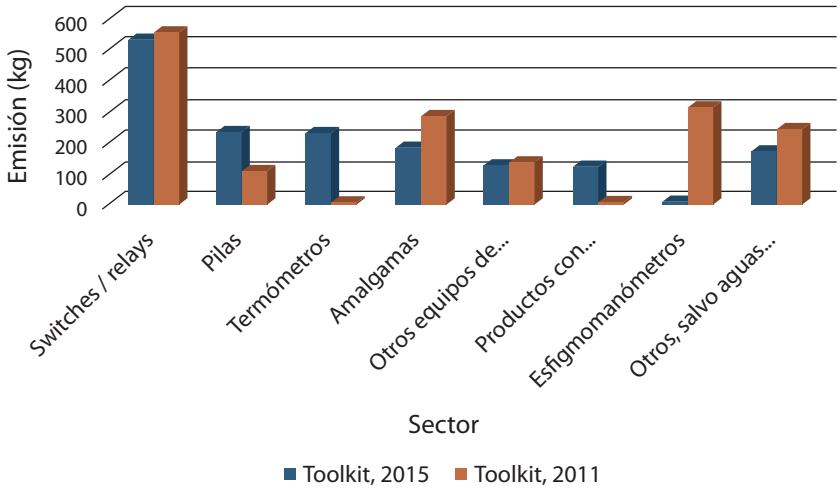


Figura 2.27. Comparación de la emisión en los productos: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

En la Figura 2.28 se comparan las emisiones calculadas para las matrices y la emisión total de ambos inventarios. La matriz más importante para el Toolkit (2015) fue la de aire; mientras que, para el Toolkit (2011), fue la de los residuos. Las matrices de agua y suelo fueron poco impactadas de acuerdo con los totales emitidos hacia esta matriz en ambos inventarios, aun cuando en el Toolkit (2011) se reportó una gran emisión de mercurio hacia las aguas residuales, contribución que fue restada para los totales por la salvedad de la hoja de cálculo de hacer esta y otras restas para evitar dobles conteos de emisión.

Al finalizar el inventario, la emisión total del Toolkit (2015) fue de 3 495,86 kg y la del Toolkit (2011) de 3 519,29 kg, con una diferencia entre estos totales de apenas 23,43 kg. Aun cuando categorías como

la minería subieron, se da una disminución de otras categorías, como las aguas residuales, dando como resultado una diferencia poco significativa en las emisiones totales de ambos inventarios.

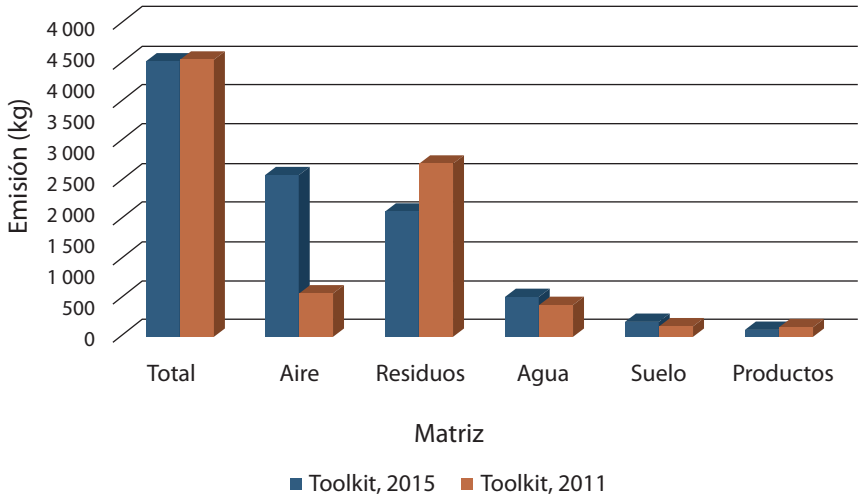


Figura 2.28. Comparación de las emisiones totales y por matriz: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

3. CONCLUSIONES

- La emisión del mercurio para el 2014 en Costa Rica se contabilizó en 4 492,13 kg en el inventario N2, con un intervalo de incertidumbre entre 2 433,76 kg y 9 223,81 kg; mientras que, en el inventario N1 (2015), se contabilizó la emisión de mercurio para Costa Rica en 3 495,86 kg, con un intervalo de incertidumbre entre 1 919,96 kg y 6 701,30 kg.
- Para el inventario N1 (2011), la emisión de mercurio se contabilizó en 3 519,29 kg, apenas 23,43 kg mayor que lo obtenido en el N1 (2015).
- Para el inventario N2, los tres sectores más importantes en cuanto a la emisión total fueron la extracción de oro con amalgamación, la quema informal de residuos y el uso de amalgamas dentales. Para el caso del inventario N1 (2015), los tres sectores más importantes en cuanto a la emisión total fueron la quema informal de residuos, la disposición informal de residuos y el uso de switches y relays eléctricos con mercurio.
- Para el inventario N1 (2011), los tres sectores más importantes en cuanto a la emisión total fueron los sistemas de tratamiento de aguas residuales, el uso de switches y relays eléctricos con mercurio y la disposición informal de residuos sólidos.
- Las matrices de aire, agua y suelo, en ese orden, sufrieron mayor impacto en el inventario N2, con un 77,26 % de la emisión total. Para el inventario N1 (2015), las matrices más impactadas fueron las de aire y residuos, en ese orden, con un 73,10 % de la emisión total. En el caso del inventario N1 (2011), las matrices más impactadas fueron las de residuos y aire, en ese orden, con un 77,73 % de la emisión total.
- Para el inventario N2, el sector más importante en emisiones al aire fue la quema informal de residuos. Asimismo, para el inventario N1 (2015) también fue la quema informal de residuos, mientras que para el inventario N1 (2011) fue la producción de cemento.
- En el caso de las emisiones al agua y al suelo, para el inventario N2 los sectores más importantes fueron la extracción de oro con amalgamación. Para el inventario N1 (2015), los sectores más importantes en las matrices agua y suelo fueron el uso de amalgamas dentales y la disposición informal de residuos, respectivamente; mientras que, en el inventario N1 (2011), fueron los sistemas de tratamiento de aguas residuales y la disposición informal de residuos, respectivamente.
- En cuanto a las matrices de productos y residuos, para el inventario N2 los sectores más importantes fueron las amalgamas dentales y el uso de switches y relays eléctricos, respectivamente. Por su parte, para el inventario N1 (2015), fueron la producción cementera y el uso de switches y relays eléctricos, respectivamente; mientras que, para el inventario N1 (2011), fueron la producción cementera y los sistemas de tratamiento de aguas residuales, respectivamente.

NOMENCLATURA

Símbolo	Significado	Unidades
A	Actividad	Variable a lo largo del documento
F	Factor de entrada, distribución y/o emisión	Variable a lo largo del documento
L	Límite de la incertidumbre	Kg
Subíndices		
INF	Inferior	Adimensional
MAP	Mejor aproximado	Adimensional
MAX	Máximo	Adimensional
MIN	Mínimo	Adimensional
SUP	Superior	Adimensional



BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, A. (2016). *Termómetros de laboratorio y reactivos en la Universidad de Costa Rica.* [Comunicación personal]. 12 de enero del 2016.

Arce, A. (2015). *Fluorescentes reciclados en Global Electric Electronic Processing*. [Comunicación personal]. 23 de septiembre del 2015.

Arce, A. (2016). *Baterías recicladas en Global Electric Electronic Processing.* [Comunicación personal]. 12 de julio del 2016.

Bolaños, J. A. (2016). R*eportes de emisiones en chimenea de CEMEX, Costa Rica.* [Comunicación personal]. 11 de julio del 2016.

Campos, R. (2016). *Fluorescentes reciclados en Campos y Muñoz Asesores Profesionales S.A.* [Comunicación personal]. 17 de abril del 2016.

Contraloría General de la República CGR (2016). *Informe de Auditoría Operativa acerca de la gestión de las Municipalidades para garantizar la prestación eficaz y eficiente del servicio de recolección de residuos ordinarios.* Recuperado de https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docsweb/auditoria-residuos/

Costa Rica. Decreto n.° *24 334-S*, *La Gaceta* n.°114 (14 de junio de 1995).

Costa Rica. Decreto n.° *27 769-MAG-S*, *La Gaceta* n.°70 (13 de abril de 1999).

Costa Rica. *Reforma al Código de Minería y sus reformas. Ley para declarar a Costa Rica país libre de Minería Metálica a Cielo Abierto*. Ley N.°*8904*.

Dirección General de Aduanas. (2016). *Importaciones de productos de interés en el 2014.* [Comunicación personal]. 17 de febrero del 2016.

Dirección de Protección al Ambiente Humano. (2016a). *Fluorescentes reciclados en Fortech Química.* [Comunicación personal]. Sin fecha.

Dirección de Protección al Ambiente Humano. (2016b). *Baterías recicladas en Fortech Química.* [Comunicación personal]. Sin fecha.

Dirección de Protección al Ambiente Humano. (2016c). *Consolidados Regionales de Bases de Datos de Reportes Operacionales de Aguas Residuales*. [Comunicación personal]. 18 de julio del 2016.

Esquivel, J. (2016). *Termómetros de laboratorio y reactivos en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.* [Comunicación personal]. Sin fecha.

Fernández, B. (2016). *Termómetros de laboratorio y reactivos en la Universidad Estatal a Distancia.* [Comunicación personal]. 20 de enero del 2016.

Gómez, M. (2016). *Cantidad de oro producido mediante rastras en Abangares, Guanacaste.* [Comunicación personal]. 6 de junio del 2016.

González, J. (2016a). *Despacho y existencias de termómetros en el almacén central de la CCSS.* [Comunicación personal]. 15 de abril del 2016.

González, J. (2016b). *Despacho y existencias de amalgamas en el almacén central de la CCSS.* [Comunicación personal]. 18 de abril del 2016.

González, Y. (2016). *Fluorescentes reciclados en Soluciones Integrales de Reciclaje, S.A.* [Comunicación personal]. 26 de febrero del 2016.

Instituto Costarricense de Electricidad. (2015). *Índice de Cobertura Eléctrica: 2015*. Recuperado de https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/10261169-f251-465d-9b95-0b17c7baa49e/Cobertura+2013.pdf?MOD=AJPERES&attachment=false&id=1453148700496

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2014). *Encuesta Nacional de Hogares.* Recuperado de: http://www.inec.go.cr/flipbook/enaho2014/index.html

Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC (2011a). *Indicadores demográficos proyectados por año calendario 2011-2025*. Recuperado de http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/poblacion/estimaciones_y_proyecciones_de_poblacion/estadisticas/resultados/c_06._costa_rica._indicadores_demograficos_proyectados_por_anos_calendario_2011_-_2025.xlsx

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011b). Costa Rica: *Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia y cantón*. Recuperado de http://www.inec.go.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2000). Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Recuperado de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.htm

López, A. (2016). *Cantidad de odontólogos incorporados al Colegio de Cirujanos Dentistas de Costa Rica para diciembre del 2014.* [Comunicación personal]. 6 de octubre del 2016.

Maíz, P. (2008). Informe Final – Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio, México 2004. Dirección de Investigación de Residuos y Sitios Contaminados, México, D.F.

Mesén, D. (2016). *Termómetros de laboratorio y reactivos en la Universidad de San José.* [Comunicación personal]. Sin fecha.

Molina, A. (2016a). *Balance Energético Nacional de Costa Rica Periodo 2014*. [Comunicación personal]. 26 de septiembre del 2016.

Molina, A. (2016b). *Costa Rica, poderes calóricos y equivalencias energéticas*. [Comunicación personal]. 26 de septiembre del 2016.

Mugica, V., Amador, M., Torres, M. y Figueroa, J (2003). Mercurio y Metales Tóxicos en Cenizas Provenientes de Procesos de Combustión e Incineración. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 19 (002), 93-100.

Murillo, J. (2016). Desarrollo de un inventario de las emisiones de mercurio generadas en Costa Rica en el año 2014 a un nivel N2. (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Pulles, T., Kok, H., Quass, U. (2006). Application of the emission inventory model TEAM: Uncertainties in dioxin emission estimates for central Europe. Atmospheric Environment 40, 2321-2332.

Quirós, P. (2015). *Fluorescentes reciclados en Manejo de Desechos Industriales S.A.* [Comunicación personal]. 21 de octubre del 2015.

Ramos, M. (2016). *Termómetros de laboratorio y reactivos en la Universidad Latina de Costa Rica.* [Comunicación personal]. 12 de febrero del 2016.

Refinadora Costarricense de Petróleo (2015). Manual de productos. Recuperado de https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2015/08/Manual_Productos_RECOPE_2015.pdf

Rodríguez, L. (2016). *Termómetros de laboratorios y reactivos en la Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología.* [Comunicación personal]. 19 de abril del 2016.

Salas, J. C. (2015). *Fluorescentes reciclados en Fundación Tecnológica de Costa Rica.* [Comunicación personal]. 14 de octubre del 2015.

Sibaja, J. P. (2016a). *Cantidad de cemento producido en Costa Rica en el 2014.* [Comunicación personal]. 15 de junio del 2016.

Sibaja, J. P. (2016b). *Cantidad de cremaciones efectuadas en Costa Rica durante el 2014.* [Comunicación personal]. 15 de junio del 2016.

Umaña, W. (2016). *Termómetros de laboratorio y reactivos en la Universidad Nacional de Costa Rica.* [Comunicación personal]. Sin fecha.

United Nations Environment Programme. (2015a). Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Sources, Reference Report and Guideline for Inventory Level 1, Version 1.3, April 2015. Subdivisión de Productos Químicos, Ginebra, Suiza.

United Nations Environment Programme. (2015b). Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Sources, Reference Report and Guideline for Inventory Level 2, Version 1.3, April 2015. Subdivisión de Productos Químicos, Ginebra, Suiza.

Valverde, J. (2016). *Comunicación de las composiciones de las baterías producidas en Panasonic Costa Rica.* [Comunicación personal]. Sin fecha.

ANEXO 1

La siguiente lista detalla las actividades potencialmente emisoras de mercurio descritas por los Toolkit que no están presentes en Costa Rica.

1. **Extracción y uso de combustibles y fuentes energéticas**

   1.1 Combustión de carbón en plantas de producción de electricidad: Según la DSE del MINAE, no se utiliza carbón para la producción eléctrica en Costa Rica.

   1.2 Extracción, refinamiento y uso de gas natural y otros derivados del petróleo: Según la DSE del MINAE, no se extrae, refina, importa ni usa gas natural en el país para producción energética ni existe concesión para la extracción primaria de derivados del petróleo, ni se utilizan para otros usos distintos a su quema para su aprovechamiento energético.

2. **Producción primaria de metales**

   2.1 Procesamiento inicial y extracción primaria de mercurio, zinc, cobre, plomo, aluminio, metales ferrosos y no ferrosos: Según la Dirección de Geología y Minas del MINAE, no hubo concesión para la explotación por el método primario para mercurio, zinc, cobre, plomo, aluminio, oro ni metales ferrosos para el 2014 (Gómez, 2016). Además, la Ley para declarar a Costa Rica país libre de minería metálica a cielo abierto (Ley n.° 8904, 2011) prohíbe la minería a cielo abierto y únicamente podrá otorgarse permisos de exploración, concesiones de explotación minera a trabajadores organizados en cooperativas dedicados a la minería en pequeña escala para subsistencia familiar, artesanal y coligallero. También dicha ley en el artículo 2 menciona que se prohíbe en el país el otorgamiento de permisos y concesiones para exploración y explotación de minería a cielo abierto con la única excepción de exploración para fines científicos y de investigación.

3. **Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio**

   3.1 Producción de pulpa y papel, cal y agregados ligeros y otros minerales y materiales: En el país no está prohibido utilizar el mercurio para producir pulpa, papel o cal; sin embargo, mediante la consulta a varias de las empresas de este sector productivo, se consiguió concluir que en el país no se realiza la producción de estos materiales con mercurio.

4. **Uso intencional de mercurio en procesos industriales**

   4.1 Producción de cloro-álcali, cloruro de vinilo, acetaldehído y otros químicos y polímeros con tecnologías con mercurio: Los procesos industriales descritos involucran el mercurio como parte vital de la confección del producto terminado, sin embargo, según las consultas realizadas a expertos en la materia con conocimiento de las actividades industriales presentes en Costa Rica (Ministerio de Salud, Cámara de Industrias de Costa Rica, entre otros) y a los sectores productivos encargados de la producción de cloro comercial, ninguno de los procesos es realizado en el país.

5. **Productos de consumo con uso intencional de mercurio**

   5.1 Biocidas y pesticidas, pinturas y cosméticos con mercurio: El Decreto n.° 27 769 prohíbe desde 1999 en su artículo 1 "el registro, formulación, fabricación, importación, exportación, tránsito, depósito, almacenamiento, venta y uso agrícola de productos a base de mercurio". Asimismo, en su artículo 2 "se designa al Ministerio de Agricultura y Ganadería por medio de la Dirección de Servicios de Protección Fitosanitaria y el Ministerio de Salud como entes encargados de velar por el cumplimiento de las disposiciones" (Decreto n.° 27 769, 1999).

   El contenido en mercurio en pinturas en el país está regulado por el Decreto n.° 24 334, el cual reglamenta en su artículo 1 que toda pintura, a excepción de las mencionadas en

el artículo 2, que se importe, fabrique, manipule, almacene, venda, transporte, distribuya o suministre, podrá contener una concentración másica máxima de mercurio de 0,005 %; sin embargo, en la industria nacional este metal no se utiliza. Por su parte, el artículo 2 dicta que las pinturas usadas en la fabricación de juguetes, muebles para niños y artículos escolares no podrán contener mercurio, plomo y otros productos químicos cuya utilización no esté previamente autorizada por el Departamento de Sustancias Tóxicas y Medicina del Trabajo, dado que es justamente este departamento, designado por el artículo 7, el encargado de vigilar por el cumplimiento de dicho decreto (Decreto n.° 24 334, 1995).

Algunos jabones, cremas y productos cosméticos contienen mercurio; sin embargo, en el país no se cuenta con una ley que regule la entrada de los mismos ni los límites máximos permitidos.

6. Otros usos intencionales en productos o procesos

6.1 Mercurio metálico usado en rituales religiosos y medicina artesanal, uso en productos misceláneos: Sí está presente, pero no es cuantificado en el país.

7. Producción de metales reciclados

7.1 Producción de mercurio reciclado, metales ferrosos reciclados (hierro y acero) y otros metales reciclados: El reciclaje, así como la producción primaria de mercurio, no se da en Costa Rica. En cuanto al reciclaje de metales ferrosos, los Toolkit para evaluar esta práctica presentan factores para emisión de mercurio relacionados con la cantidad de vehículos reciclados únicamente, dado que en el país la práctica principal en cuanto a descarte de vehículos es su desmantelamiento y exportación, no su reciclaje, como lo proponen los Toolkit.

8. Incineración de residuos sólidos

8.1 Incineración de residuos sólidos municipales y ordinarios, de residuos sólidos peligrosos, de residuos médicos y de lodos de aguas residuales: En Costa Rica la incineración formal aún no estaba autorizada para el año de estudio, mientras que para los residuos sólidos peligrosos de los hospitales el tratamiento realizado consiste en pasarlos por una autoclave para luego enviarlos a los rellenos sanitarios. No se da su incineración.

9. Deposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales

9.1 Deposición difusa de residuos sólidos con algún control o deposición informal local de residuos sólidos de producción industrial: Los residuos sólidos generados en el país son dispuestos ordinariamente en los rellenos sanitarios o vertederos y en la informalidad en lotes baldíos o ríos. Por lo tanto, no existe una deposición semicontrolada de residuos sólidos.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)
Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA)

MERCURIO EN AREAS PRIORITARIAS EN COSTA RICA

Informe de Resultados



COSTA RICA
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

minae

gef

PNUD



CONTENIDO

1. Introducción 5
2. Metodología 7
   - 2.1 Métodos de Muestreo y Análisis 8
     - 2.1.1 Aire 8
     - 2.1.2 Aguas, biotas y sedimentos 8
   - 2.1. Meteorología 9
3. Resultados por zona de muestreo 9
   - 3.1 Zona de Las Juntas de Abangares, Guanacaste 9
     - 3.1.1 Descripción del sitio de muestreo 9
     - 3.1.2 Concentraciones de mercurio en aire 12
     - 3.1.3 Concentraciones de mercurio total en desechos del proceso de extracción de oro por minería artesanal en la zona de Abangares 14
     - 3.1.1 Concentraciones de mercurio en aguas y sedimentos de río 17
   - 3.2 Zona de La Asunción, Belén 18
     - 3.2.1 Descripción del sitio de muestreo 18
     - 3.2.2 Concentraciones de mercurio en aire 19
   - 3.3 Zona de Dulce Nombre-Aguas Calientes, Cartago 21
     - 3.3.1 Descripción del sitio de muestreo: Dulce Nombre y Aguas Calientes, Cartago 21
     - 3.3.2 Concentraciones de mercurio en aire 22
     - 3.3.3 Concentraciones de mercurio en agua y sedimento de río 25
     - 3.3.4 Concentraciones de mercurio en suelo 26
   - 3.4 Zona de baja influencia antropogénica: Parque Nacional Cahuita, Limón 26
     - 3.4.1 Descripción del sitio de muestreo 26
     - 3.4.2 Concentraciones de mercurio en aire 27
   - 3.5 Zona de influencia Volcánica: Irazú -Turrialba 29
     - 3.5.1 Descripción del sitio de muestreo: Cercanías al Parque Nacional Volcán Turrialba 29
     - 3.5.2 Concentraciones de mercurio en aire 33
     - 3.5.4 Concentraciones de mercurio en suelo 35
     - 3.5.5 Concentraciones de mercurio en aguas y sedimentos de río 36

3.5.3 Concentraciones de mercurio en biota 36
3.6 Comparación de resultados entre todas las zonas de muestreo 37
4. Conclusiones y recomendaciones 39
5. Referencias bibliográficas 41

1. INTRODUCCIÓN

Las especies más comunes de mercurio en aire son el mercurio elemental gaseoso (GEM o Hg0), el mercurio gaseoso reactivo (RGM o Hg(II)) y el mercurio particulado (Hg(p)). El GEM vaporiza fácilmente a partir de su estado líquido debido a la alta volatilidad (Kumar *et al.,* 2011).Otras especies presentes en la distribución de mercurio en el medio ambiente en general son el mercurio inorgánico divalente (Hg^2+), el monometil–mercurio (MeHg), el di-metil-mercurio (DMeHg) y el mono-etil-mercurio (EtHg) (Coulibaly *et al.,* 2016).

El ciclo global de mercurio atmosférico inicia con su liberación al ambiente de fuentes naturales y antropogénicas. Una vez en el medio ambiente, el mercurio circula entre el aire, la tierra y el agua hasta que eventualmente es removido del sistema quedando enterrado en sedimentos oceánicos y de lagos o quedando atrapado en compuestos minerales estables. En estos estados los procesos microbianos en los ambientes acuáticos poseen la capacidad de formar el metilmercurio. En la siguiente figura se resume la dinámica del mercurio en la atmósfera así como sus procesos de deposición y re-emisión (UNEP, 2013).

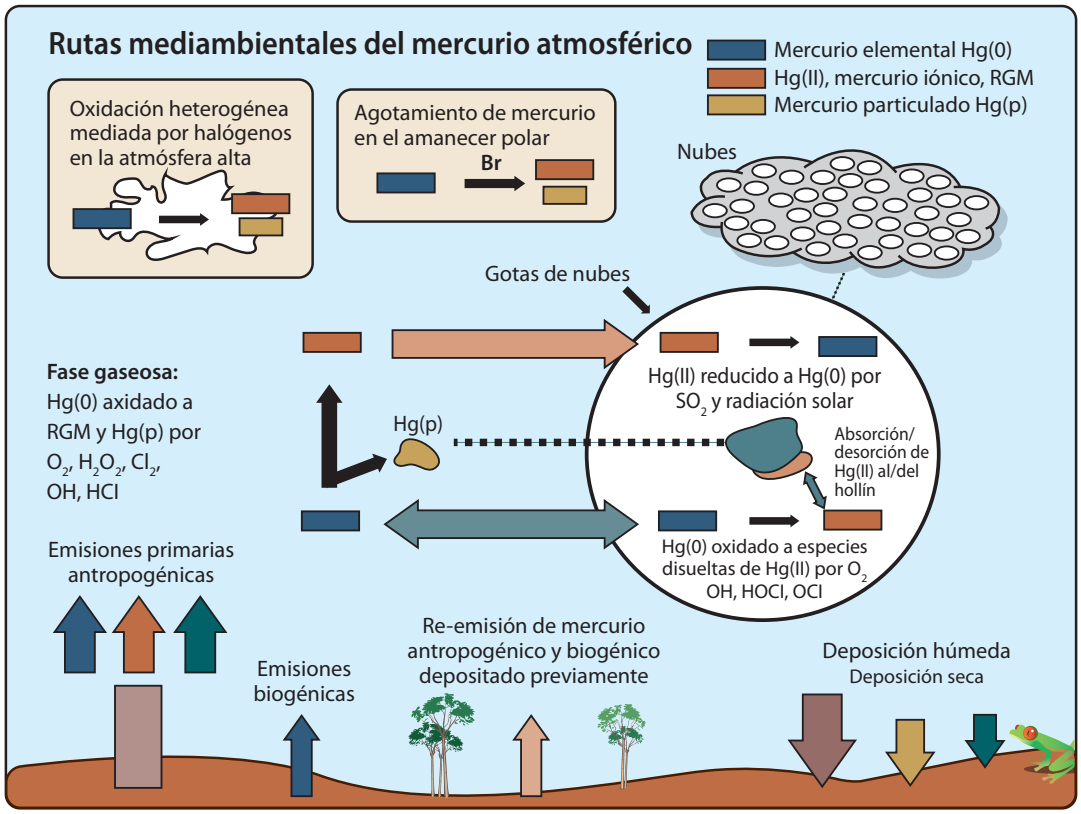


Figura 1. Ciclo del mercurio atmosférico, imagen traducida. (Fuente: NOAA, 2016).

La atmósfera es la principal vía para el transporte del mercurio a partir de las fuentes de emisión. Este elemento puede existir en el ambiente en distintas formas físicas, dependiendo de la temperatura y la presión. Debido a su facilidad para presentar interacciones biológicas, el GEM sufre cambios complejos y difíciles de predecir en su concentración y formas químicas (Kumar *et al.,* 2011).

El GEM posee un tiempo de vida media atmosférica de seis meses a un año. Este componente se oxida a otros gases y compuestos particulados de Hg (II) que pueden someterse a deposición húmeda y seca. Estas especies oxidadas presentan un menor tiempo de vida en la atmósfera, siendo esta de varias horas a días (Weiss-Penzias *et al*., 2016).

El GEM se convierte lentamente a Hg gaseoso oxidado (RGM) soluble a través de diversas reacciones fotoquímicas, incluyendo reacciones que pueden implicar ozono (O_3), radical hidroxilo (OH), nitrato (NO_3), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), y/o bromo atómico (Br) (Yi Jiang y Cizdziel, 2013). El GEM es oxidado por el bromo (Br) para formar productos de Hg(II). La oxidación del GEM implica una reacción de dos pasos: (1) el GEM atmosférico reacciona con Br para formar HgBr inestable; (2) El HgBr puede disociarse o reaccionar con Br o radical hidroxilo (OH) para formar el producto final Hg(II). El Hg (II) gaseoso y particulado están sujetos a la deposición húmeda, que incluye el barrido en corrientes convectivas ascendentes, suspensión por lluvia y el lavado de las precipitaciones a gran escala (Zhang y Holmes, 2016).

La mayoría del Hg(p) se origina de forma antropogénica de emisiones directas, en particular de la calefacción y la producción de energía, mientras que la transformación de RGM es otra fuente importante (Qin *et al* 2016).

Según la literatura, algunas de las reacciones que sufre el mercurio en la atmósfera son las siguientes (de Foy *et al,.* 2016), (Cohen, 2004):

GEM + O3 ☐ PHg	(1)
GEM + HCl ☐ $HgCl_2$	(2)
GEM + H_2O_2 ☐ PHg	(3)
GEM + Cl_2 ☐ HgCl	(4)
GEM + OH ☐ RGM + PHg	(5)
GEM + OHC ☐ PHg	(6)
GEM + Br2 ☐ $HgBr_2$	(7)
GEM + Br ☐ HgBr	(8)
HgBr + Br ☐ HgBr	(9)
HgBr + OH ☐ HgBrOH	(10)
HgBr ☐ GEM	(11)

Además de las fuentes y los procesos atmosféricos que ocurren en tierra, el océano es también una fuente importante de GEM y sumidero de mercurio oxidado. Dado que el océano es también un sumidero importante de esta especie gaseosa debido a los procesos de deposición, el mercurio fluye de la superficie del océano incluyendo el previamente depositado procedente de fuentes naturales y antropogénicas. En adición el GEM, el RGM y el Hg(p) se pueden producir sobre el océano. Adicionalmente, los océanos son una fuente importante de bromo reactivo que puede potencialmente oxidar el Hg(0) a RGM. La afinidad del RGM al cloruro de sodio (NaCl) junto con la abundancia de aerosoles de sal marina en los océanos, son factores propicios para la partición del Hg reactivo a las partículas (Cheng *et al.,* 2014).

De forma general, el transporte del mercurio en el ambiente depende de la especiación, factores meteorológicos, y el medio ambiente local/regional. Cada especie exhibe características únicas de transporte que se ven afectadas por cambios en las condiciones tanto internas como externas. Se ha encontrado

que el Hg(0) es capaz de ser transportado por vía aérea a decenas de miles de kilómetros. Sin embargo, las especies de Hg (II) en fase gaseosa se pueden retirar en las proximidades de la fuente original debido a la alta reactividad o la inestabilidad. Es probable que el Hg particulado se deposite a distancias intermedias, en función del diámetro/masa del aerosol al que esté unido (Kim *et al*., 2011).

2. METODOLOGÍA

Como parte del proyecto "Actividades Habilitantes para la Evaluación Inicial del Convenio de Minamata", se realizó un diagnóstico base de la presencia de mercurio en distintas matrices ambientales en Costa Rica. Para ello se escogieron 5 zonas de muestreo que reflejaran la contribución de distintas fuentes potenciales de mercurio asociadas a su presencia en el medioambiente por causas naturales (biogénicas) o producidas por el ser humano (antropogénicas). En el siguiente cuadro se muestran los lugares escogidos con su debida justificación y ratificados durante las sesiones de la comisión interinstitucional creada para desarrollar dichas actividades.

Cuadro 1. Descripción de los sitios de muestreo seleccionados

No.	Fuente potencial	Zona	Justificación	Tipo de Sitio
1	Actividad ligada a la minería de oro	Las Juntas de Abangares, Guanacaste	Zona donde se lleva a cabo minería de oro artesanal.	Rural
2	Actividad volcánica	Alrededores del Parque Nacional Volcán Turrialba y Volcán Irazú	Fuente de emisión natural de mercurio.	Rural
3	Actividades industriales	La Asunción, Belén	Zona urbana mixta actividad residencial, comercial e industrial)	Residencial/ Comercial/ Industrial
4	Actividad industrial incluyendo industria cementera	Dulce Nombre – Aguas Calientes, Cartago	Influencia de actividad industrial cementera	Residencial/ Comercial
5	No hay actividad potencial antropogénica	Parque Nacional Cahuita, Limón	Sitio con mínima influencia humana en la entrada de vientos desde el Caribe.	Rural/ Remoto

En cada uno de los sitios de muestreo se escogieron las matrices de mayor importancia para el estudio base. En el cuadro 2 se resumen las matrices escogidas.

Cuadro 2. **Matrices ambientales prioritarias para cada sitio de muestreo**

No.	Lugar	Agua	Aire	Suelo/Sedimento	Biota
1	Las de Juntas de Abangares	Sí	Sí	Sí	No
2	Alrededores del Parque Nacional Volcán Turrialba	Sí	Sí	Sí	Sí
3	La Asunción, Belén	Sí	Sí	No	No
4	Dulce Nombre - Aguas Calientes, Cartago	Sí	Sí	Sí	No
5	Parque Nacional Cahuita, Limón	No	Sí	No	No

2.1 Métodos de Muestreo y Análisis

2.1.1 Aire

Para las mediciones en aire se utilizó un analizador TEKRAN modelo 2537X, adquirido por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El equipo consiste en un espectrómetro de fluorescencia atómica que determina el contenido de vapor de mercurio elemental en aire de forma directa y en tiempo real. El equipo cuenta con un sistema de doble canal con cartuchos que contiene oro granulado como medio de absorción que permite concentrar el mercurio presente en el aire con el fin de lograr bajos niveles de detección (< 0,1 ng/m$^{3)}$.



Figura 2. **Analizador de mercurio elemental en aire, marca Tekran 2537X.**

El equipo cuenta con un generador de aire cero y una fuente de permeación interna de mercurio que calibra constantemente el equipo y garantiza un adecuado control de calidad sobre las mediciones continuas.

2.1.2 Aguas, biotas y sedimentos

El análisis de mercurio total en las muestras de agua, sedimentos, suelos y vegetación se realizaron utilizando un equipo Tekran 2600, el cual utiliza espectrometría de fluorescencia atómica y cartuchos de oro como medio de concentración. Este equipo posee un límite de detección de < 0,02 ng/litro. Todas las muestras recolectadas siguieron un cuidadoso proceso de digestión y acondicionamiento basado en los lineamientos establecidos en el método 1631 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) y sus respectivas variaciones para el caso de las muestras de sedimentos y biota. Las muestras fueron procesadas por el Laboratorio Ultralimpio de Elementos Traza de la Universidad de Manitoba en Canadá (Director: Dr. Feiyue Wang).

Según los parámetros de desempeño seleccionados en el desarrollo del método de análisis, todas las determinaciones analíticas de mercurio desarrolladas en este informe presentan una incertidumbre del 10% sobre el valor reportado.



Figura 3. Analizador de mercurio total, marca Tekran 2600.

2.1. Meteorología

En cada uno de los sitios donde se monitoreó el mercurio elemental presente en el aire, se colocó una estación meteorológica para medir de forma simultánea algunas variables como: temperatura, presión, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento. Estos parámetros se miden para poder interpretar mejor los resultados obtenidos en cada sitio. En los sitios del Volcán Irazú y Belén, se utilizaron los datos de la estación meteorológica más cercana del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

3. RESULTADOS POR ZONA DE MUESTREO

3.1 Zona de Las Juntas de Abangares, Guanacaste

3.1.1 Descripción del sitio de muestreo

El monitoreo de mercurio gaseoso elemental (GEM) en el aire se llevó a cabo en las cercanías del Barrio San Francisco del 16 de marzo al 01 de abril del 2016. En la siguiente figura se observan las condiciones del muestreo.



Figura 4. **Sitio de muestreo en la Escuela San Francisco.**

Se visitaron 34 rastras para la toma de muestras de residuos del proceso de minería artesanal tanto de la salida de las rastras como en las lagunas de residuos (conocidas como lamas). También se recolectó una muestra de agua en la parte alta del Río Abangares donde se ubica la toma de agua del acueducto rural que opera en esta zona (ASADA).

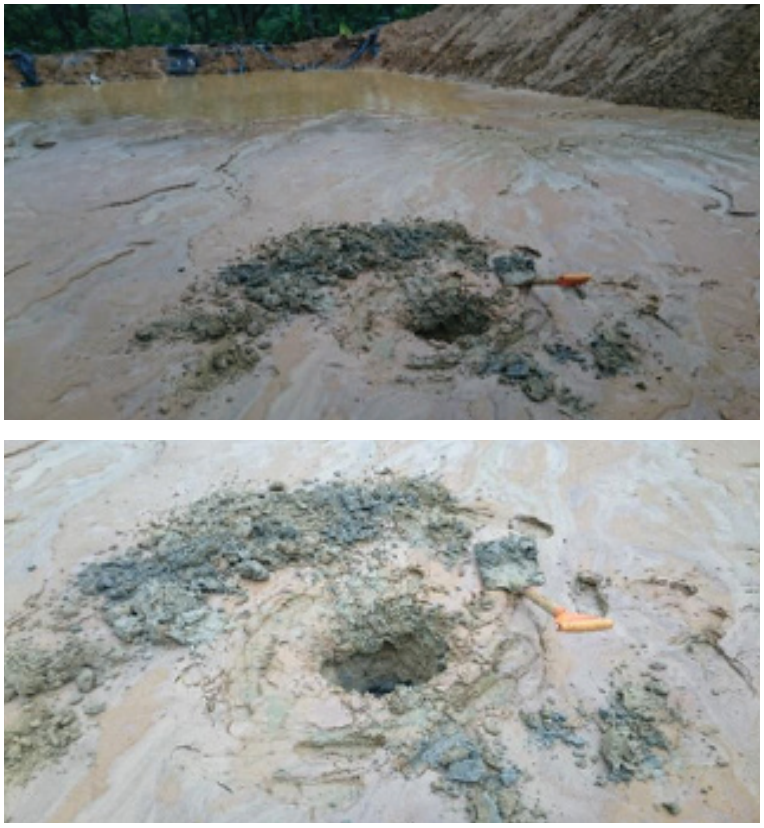


Figura 5. **Muestreo de sedimentos en las lagunas de residuos ("lamas").**

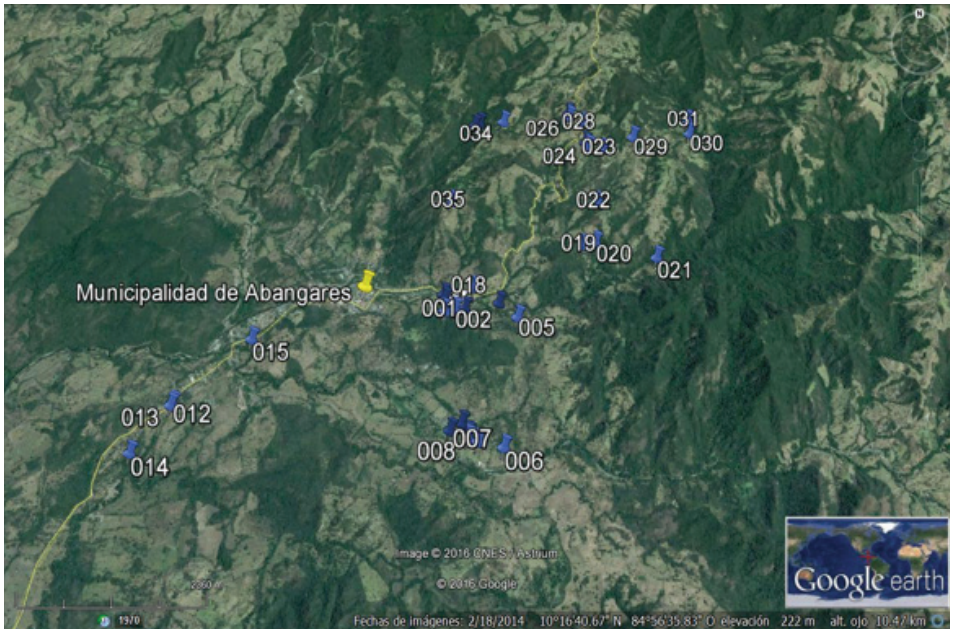


Figura 6. Puntos de muestreo para las rastras y el acueducto (Imagen de Google Earth).

Además, se recolectaron 3 muestras de agua y sedimentos de ríos cercanos a las Juntas de Abangares, a saber (figura 7):

- Río San Juan, Puente Marita Jenkins
- Río Abangares, Centro de Las Juntas
- Río Abangares, Puente de Limonal sobre la carretera Interamericana



Figura 7. Puntos de muestreo sobre ríos de la zona de Abangares (Imagen de Google Earth).

3.1.2 Concentraciones de mercurio en aire

Los valores del mercurio gaseoso elemental (GEM) en la zona de Abangares se encontraron en el rango de 1,7 – 244 ng/m^{3,} presentándose los valores más altos en episodios de algunos pocos minutos. Las muestras eran tomadas cada 5 minutos de manera continua por el equipo y el consecutivo de todas las mediciones se muestran en la figura 8.

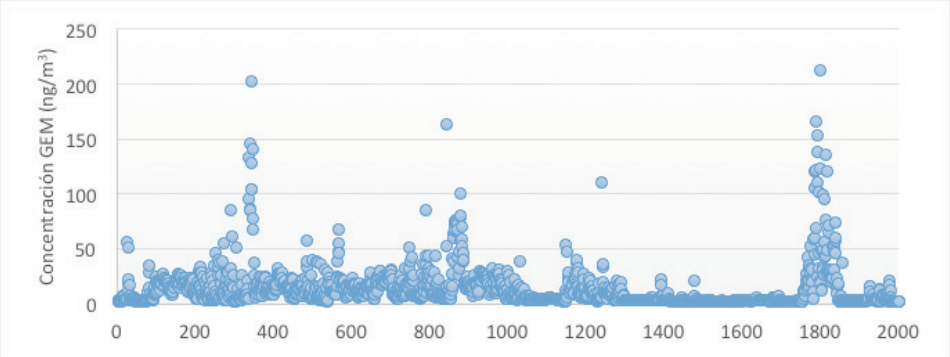


Figura 8. Consecutivo de las mediciones en la campaña Abangares

Los valores promedio diarios (24 horas) no sobrepasaron los 25 ng/m^3 y el promedio de todos los valores obtenidos durante la campaña es de 11,007 ng/m^3. Según la Comisión Europea la concentración promedio de mercurio en aire ambiente se encuentra en el rango de 1,2 – 3,7 ng/m^3 aunque estos valores tienden a aumentar en las zonas urbanas e industriales a valores de hasta 5 ng/m^3 y 20 ng/m^3 respectivamente. Las concentraciones obtenidas durante la campaña de muestreo en Abangares muestra resultados que sobrepasan dichos valores.

En la figura 9 se observa un descenso en la concentración promedio de mercurio elemental en la semana del 21 al 25 de marzo, lo cual coincidió con la Semana Santa, donde aparentemente se da un descenso en la actividad minera de la zona. A pesar de esto se observó un pico importante el miércoles santo lo cual se atribuye a una mayor actividad con el fin de disminuir el trabajo el Jueves Santo y el Viernes Santos que normalmente son días de descanso y poca actividad laboral. Este comportamiento sugiere que los niveles observados de mercurio en el aire podrían estar relacionados más a la actividad humana que a fenómenos naturales de deposición y re-emisión.

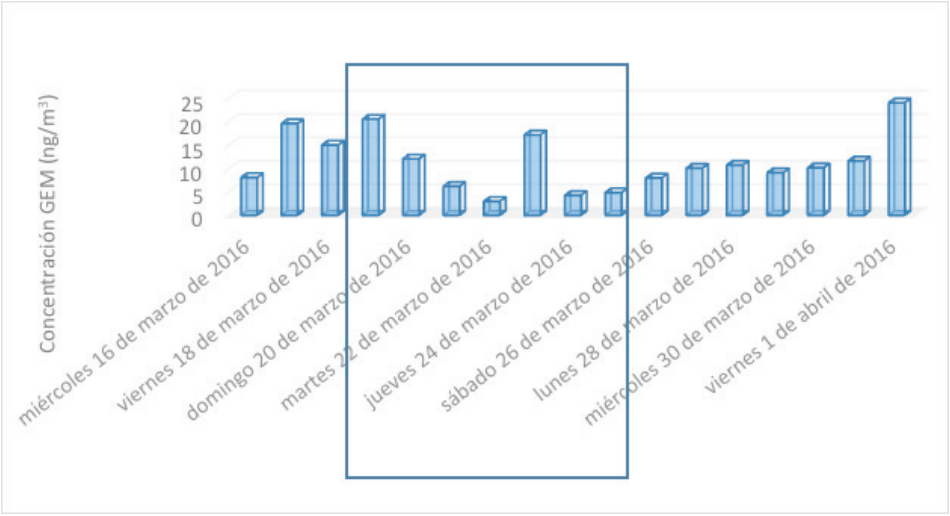


Figura 9. Concentración promedio diaria de GEM en Abangares

A nivel horario no se denota un ciclo diurno claro que pueda extraerse de la información obtenida (Figura 10). Lo que sí se pudo comprobar, posteriormente con el muestreo de sedimentos y aguas de proceso, es que cercano al punto de muestreo existen varios sitios con rastras dedicadas a la actividad de minería de oro de forma artesanal.

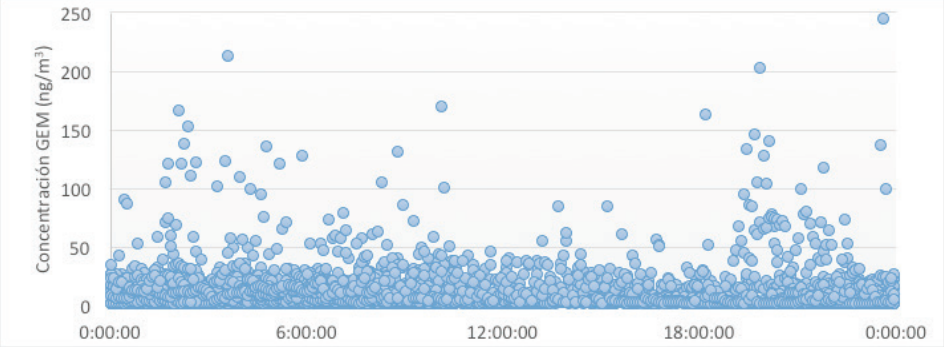


Figura 10. Ciclo diurno de las concentraciones de GEM de la campaña de muestreo en Abangares (GMT -6)

Al analizar la figura 11 se observa que la ubicación del punto de muestreo es un sitio ideal influenciado por las rastras ubicadas (puntos negros con amarillo en la figura) en sus cercanías. La dirección de los vientos predominantes durante la campaña de muestreo provenía del este. La influencia de las rastras identificadas de previo cercanas a la ubicación del sitio de muestreo en conjunto con la posibilidad de que existan otras no identificadas, determinan las altas concentraciones obtenidas.

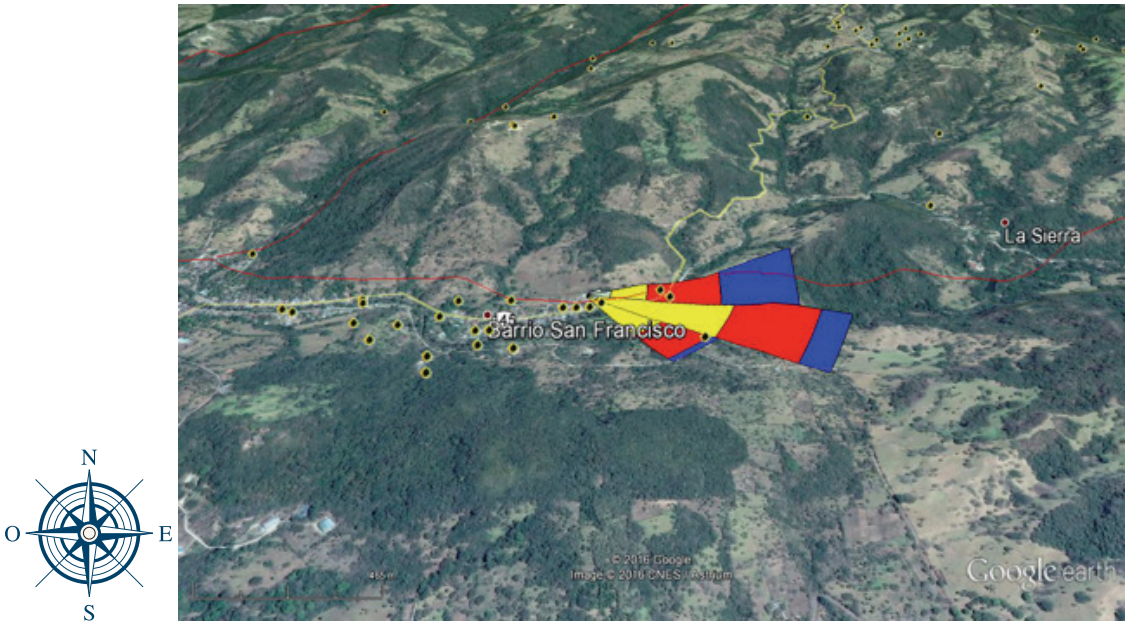


Figura 11. Punto de muestreo y comportamiento de los vientos durante la campaña de muestreo en Abangares. Los puntos negros con contorno amarillo corresponden a la ubicación de las rastras proporcionadas por la Dirección de Geología y Minas de Costa Rica (Imagen tomada de google Earth).

3.1.3 Concentraciones de mercurio total en desechos del proceso de extracción de oro por minería artesanal en la zona de Abangares

El proceso de extracción de oro por minería artesanal más comúnmente observado en la Zona de Abangares consiste en la utilización de rastras donde se adiciona el mineral junto con mercurio con el fin de formar una amalgama con el oro. De este proceso se produce una mezcla de sustancias desechadas que pasan primero a una pileta para posteriormente ser conducidas mediante un canal a las lagunas (conocidas como "lamas"), donde se acumulan los residuos finales. Estos desechos corresponden a material sólido (no amalgamado) junto con el agua de lavado utilizada en la rastra y que conforman un tipo de lodo.

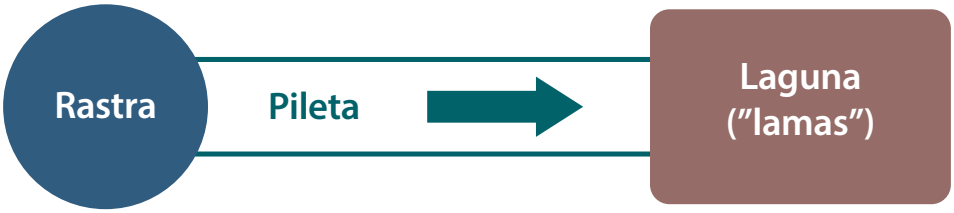


Figura 12. Diagrama de generación de residuos más común en la minería artesanal de oro en Abangares.

Los residuos que se direccionan por la pileta corresponden mayoritariamente a una fase acuosa del agua de lavado utilizada ampliamente en la operación de la rastra junto con los residuos sólidos del material procesado; mientras que las muestras de lodos de las lagunas son mayoritariamente sólidos con una alta humedad y en ciertos casos una pequeña fase acuosa con presencia de sólidos suspendidos (ver figura 13).



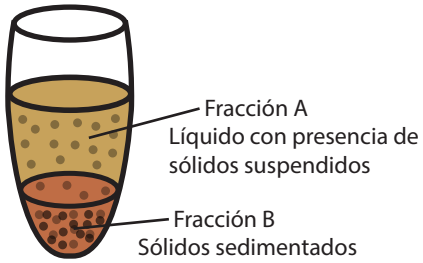
Figura 13. Tipos de muestras de residuos de la minería artesanal de oro tomadas en el estudio.

Se determinó la concentración del mercurio total en sedimentos obtenidos de las piletas presentando valores en el rango 10,8 – 153,3 mg/kg en base seca, es decir muestras sin presencia de humedad. Por otro lado, las concentraciones en las muestras de las lagunas presentaron valores en el rango 3,7 – 79,9 mg/kg. Las concentraciones promedio y las desviaciones estándar se presentan en el siguiente cuadro. Todas las muestras sólidas de este estudio se expresan en concentración de mercurio en base seca.

Cuadro 3. **Concentración de mercurio total en sedimentos de piletas y lagunas**

Tipo de muestra	Sedimentos Piletas (mg/kg)	Sedimentos Lagunas (mg/kg)
Promedio	62.2	42.9
Máximo	153.3	79.9
Mínimo	10.8	3.7
Desv. Est.	39.4	26.3
Datos	20	12

A modo de ejercicio, en una de las rastras muestreadas se tomó una muestra de agua de residuos en la salida de la pileta con el fin de determinar la concentración del mercurio total justo antes de pasar a la laguna.



Muestra de pileta

Figura 14. **Tipos de muestras de residuos de la minería artesanal de oro tomadas en el estudio.**

Se determinó la concentración por fracciones siendo la fracción A la fase líquida con presencia de sólidos. Dicha muestra se filtró para determinar la concentración de mercurio en los sólidos suspendidos. La fracción B corresponde a una fase sólida compuesta principalmente por los sólidos sedimentados con alta humedad. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. **Concentraciones de mercurio en diferentes fases de una misma rastra**

Tipo de muestra	Concentración Hg (mg/kg)	Concentración Hg (ug/l)
Fracción A (filtrada)	No aplica	0,643
Fracción A (no filtrada)	No aplica	91,458
Fracción B	123,6	No aplica

La concentración del mercurio total de la fracción A no filtrada fue ampliamente superior a la concentración en la muestra filtrada (99,93%), por lo tanto, se observa que el mayor aporte a la concentración del mercurio encontrado en la muestra de agua provenía del mercurio enlazado a los sólidos de la muestra.

Esta alta concentración del mercurio total en los sólidos se fundamenta en los valores positivos del coeficiente de reparto (coeficiente octanol-agua) de la mayoría de especies de mercurio encontradas en al ambiente. Especies como el mercurio elemental, sulfuro de mercurio (II), cloruro de mercurio (II) y dimetil mercurio presentan valores positivos por lo cual tienden a adsorberse a los tejidos, suelos o sedimentos y pueden bioacumularse o bioconcentrarse.

Existen diversos estudios donde se analizaron las concentraciones de mercurio en diferentes matrices producidas en la minería de cinabrio principal mineral utilizado para la extracción de mercurio (ver

tabla adjunta). Dichos sitios se consideran entre los más contaminados con mercurio a nivel mundial como consecuencia de las antiguas actividades ligadas a la extracción del mercurio para uso industrial.

Cuadro 5. Concentraciones de mercurio total obtenidas en muestras de residuos de minería de cinabrio (extracción de mercurio)

N°	Lugar	Actividad	Concentración de Hg total (mg/kg)	Referencia
1	Querétaro, México	Minería de Cinabrio	2,4 - 4 164	Martínez - Trinidad *et al.* (2013)
2	Almadén, España	Minería de Cinabrio	160 - 34 000	Higueras *et al.* (2003)
3	Idrija, Slovenia	Minería de Cinabrio	5 - 1 000	Lin *et al.* (2010)
4	Guizhou, China	Minería de Cinabrio	0,33 - 790	Qiu *et al.* (2006)
5	Abangares, Costa Rica	Minería artesanal de Oro	3,7 - 79,9	Este estudio

Si se comparan las concentraciones de mercurio total encontradas en las lamas asociadas a la extracción de oro artesanal en Abangares con las encontradas en la minería de extracción de mercurio se denota que las concentraciones encontradas en la minería artesanal de oro son más bajas. Cabe destacar que ambos procesos de minería son distintos pero los posibles impactos de las concentraciones de mercurio en los residuos al ambiente son los mismos.

En la entrada de una de las lagunas se tomó una muestra del agua de proceso, que trae consigo material sólido, para compararla con la concentración de los sedimentos acumulados propiamente dentro de la laguna. La concentración de los sólidos filtrados de la muestra acuosa fue de 149 mg/kg, mientras que la concentración encontrada en el sedimento de dicha laguna fue de 7,3 mg/kg. Esta concentración de mercurio en el sedimento de la laguna es una de las más bajas encontradas, tomando en cuenta que como se mencionó anteriormente el promedio de la concentración de mercurio en estas matrices fue de 42,9 mg/kg. Por otro lado, la concentración de 149 mg/kg en los sólidos filtrados del agua que ingresa a la laguna infiere que hay una alimentación constante de altas concentraciones de mercurio en las lagunas que posteriormente se diluyen en el volumen total de la laguna.

Actualmente, en el país no existe normativa específica para las lagunas de la actividad minera, esto por su carácter artesanal e informal, no obstante alguna normativa de referencia en cuanto a concentraciones de mercurio en el suelo, se puede mencionar el Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados por emergencias ambientales y derrames N° 37757-S, que establece un listado de sustancias químicas y los valores guía a partir de los cuales se podrían provocar alteraciones perjudiciales a la calidad del suelo, a fin de evitar daños a la salud pública y al ambiente; así como establecer los procedimientos administrativos para la gestión del riesgo en casos de contaminación de suelo y medios con los que éste tenga contacto. En dicho reglamento se establecen valores de intervención en zonas industriales, residenciales o agrícolas de 70, 36 y 12 mg/kg respectivamente; y un valor de prevención de 0,5 mg/kg de mercurio para suelo de cualquier tipo.

A nivel internacional, las concentraciones máximas de mercurio total en suelos establecidos en la guía estadounidense de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) y en la guía del Concejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente para calidad de suelos (CA-SQG) son de 23 mg/kg y 6,6 mg/kg respectivamente.

Si bien se trata de matrices diferentes (los lodos con respecto a los suelos), se puede denotar que un posible manejo inadecuado de los lodos de las lagunas podría generar una dispersión de altas concentraciones de mercurio y generar tanto la acumulación en suelos, así como el transporte a otras matrices por escorrentía o erosión provocando mayores impactos al ambiente.

3.1.1 Concentraciones de mercurio en aguas y sedimentos de río

Se analizaron cuatro muestras de aguas naturales en la zona de Abangares. Las concentraciones obtenidas se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Concentraciones de mercurio en aguas y sedimentos de río de la zona de Abangares

N°	Sitio de muestreo	Latitud (grados decimales)	Longitud (grados decimales)	Concentración de Hg en agua (ng/l)	Concentración de Hg en sedimento (mg/kg)
1	Toma de agua del Río Abangares	10,284919	-84,91934	15,195	3,3
2	Río San Juan en el puente Marita Jenckins	10,26309	-84,949047	38,120	5,3
3	Río Abangares en el centro de Las Juntas	10,282715	-84,957835	26,365	73,3
4	Río Abangares bajo el Puente Limonal (Sobre carretera Interamericana Norte)	10,252531	-85,012864	58,145	5,8

La ubicación de los sitios de muestreo seleccionados se muestra en la figura 15. Cabe destacar que la muestra #2 pertenece al cauce del Río San Juan mientras que las otras tres muestras pertenecen al Río Abangares. El Río San Juan se une al Río Abangares en un punto río abajo donde ya se han unido otros afluentes como el Río Zapote, Río Santa Lucía y Río Agua Caliente.

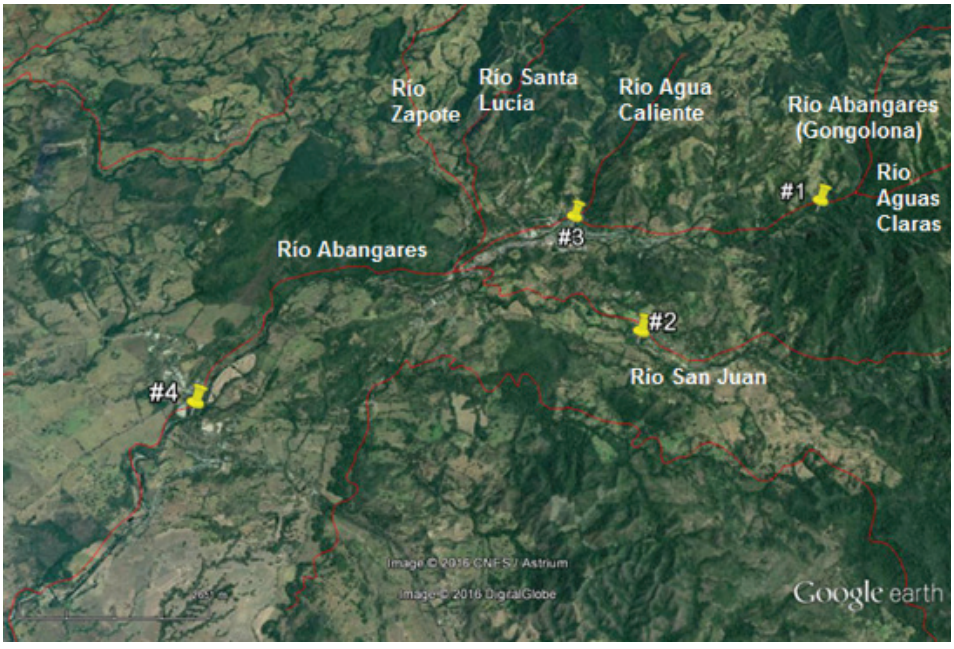


Figura 15. Muestras de agua de río tomadas en la zona de Abangares (Imagen de Google Earth con capa del río Abangares en proyección CRTM05).

La muestra #1 tomada río arriba cercana a la toma de agua del acueducto rural que opera en esta zona presentó una concentración de 15,195 ng/l de mercurio total. Esta muestra se toma en un punto

geográfico donde se presupone la calidad del río es la más alta ya que no se presenta mayor influencia antropogénica río arriba.

El valor máximo admisible de mercurio según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica (No 38924-S) es de 0,001 mg/l (1 000 ng/l), publicado en el 2015. Según este reglamento el valor obtenido en la toma del río presenta un valor muy por debajo del valor máximo admisible, el cual es coincidente con el límite estipulado para la Norma Oficial Mexicana (NOM), y es menor al valor estipulado por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) de 0,002 mg/l.

Las muestras #2 y #3 presentan concentraciones más altas de mercurio total (38,120 y 26,365 ng/l respectivamente). Este comportamiento es atribuible a la influencia de las actividades humanas que se presentan en la zona. Dicha situación se denota mayormente en el sitio #4 correspondiente al Río Abangares en su parte baja donde ya han convergido gran cantidad de afluentes y cuya concentración de mercurio total fue la más alta de los 4 sitios (58,145 ng/l). Sin embargo, todas las concentraciones encontradas son bajas si se comparan con otros estudios donde se analizaron corrientes de agua como quebradas o ríos en general con posible presencia de mercurio. Las concentraciones obtenidas en diversos estudios se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Concentraciones de mercurio total obtenidas en muestras de corrientes de agua en zonas de alta concentración de mercurio

N°	Lugar	Actividad	Concentración de Hg total (ng/l)	Referencia
1	Almadén, España	Minería de Cinabrio	7,6 – 20 300	Berzas Nevado *et al.* (2003)
2	Idrija, Slovenia	Minería de Cinabrio	2,8 – 322	Horvat *et al.* (2002)
3	Guizhou, China	Minería de Cinabrio	22 – 360	Qiu *et al.* (2006)
4	Querétaro, México	Minería de Cinabrio	10 – 170 (agua de consumo)	Martínez - Trinidad *et al.* (2013)
5	Abangares, Costa Rica	Minería artesanal de Oro	15,2 – 58,1	Este estudio.

Por otra parte, las concentraciones obtenidas en los sedimentos de los ríos son consistentes a las concentraciones encontradas en otros estudios. La concentración más alta de mercurio total en sedimentos de río fue de 73,3 mg/kg para la muestra tomada en el río Abangares cercano al centro de las Juntas de Abangares. Una posible causa es la mayor contribución de diferentes fuentes cercanas al sitio de muestreo, así como una mayor presencia de materia orgánica que promueve la acumulación del mercurio debido a su afinidad a este tipo de matriz. La granulometría así como la disponibilidad materia orgánica definen la posible acumulación del mercurio total en dicha matriz.

3.2 Zona de La Asunción, Belén

3.2.1 Descripción del sitio de muestreo

El punto de muestreo de aire ambiente se colocó en La Asunción de Belén, una zona urbana mixta donde convergen actividades urbanas, comerciales e industriales. El período de monitoreo comprendió del 26 de febrero al 07 de marzo del 2016.



Figura 16. La Asunción, Belén.

3.2.2 Concentraciones de mercurio en aire

En La Asunción de Belén se obtuvo un promedio bajo de concentraciones de GEM, a pesar de las diversas influencias cercanas, presentando un valor promedio de 1,0 ng/m^3 de mercurio elemental. Este valor se encuentra por debajo del rango ambiental promedio mencionado anteriormente de 1,2 – 3,7 ng/m^3, e inclusive este valor está por debajo de la concentración media urbana cercana a los 5 ng/m^3 según la Comisión Europea.

Como se observa en la figura 17, la mayoría de las mediciones se encontraron cercanas a un valor de 1,0 ng/m^3 con un solo dato atípico de 4,5 ng/m^3. Este dato corresponde a un solo valor en un período de 5 minutos que no aporta significancia al número total de mediciones (más de 2 800) durante la campaña de muestreo.

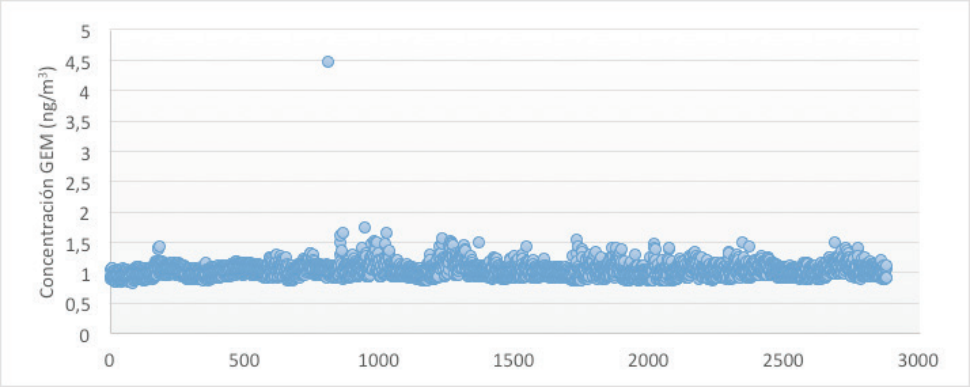


Figura 17. Consecutivo de las mediciones en la campaña en Belén

En la figura 18 se presentan las concentraciones promedio diarias de mercurio elemental obtenidas durante la campaña de muestreo en Belén. Como se puede observar los valores promedios obtenidos diariamente se encuentran aproximadamente entre 0,95 y 1,1 ng/m^3 siendo consistente con el promedio total de la campaña de 1,0 ng/m^3. No se observa algún tipo de patrón asociable a alguna actividad humana ya que las concentraciones se mantienen constantes tanto en días laborales de alta influencia

vehicular e industrial en comparación con los datos obtenidos en fin de semana en los que se espera un descenso en dichas actividades.

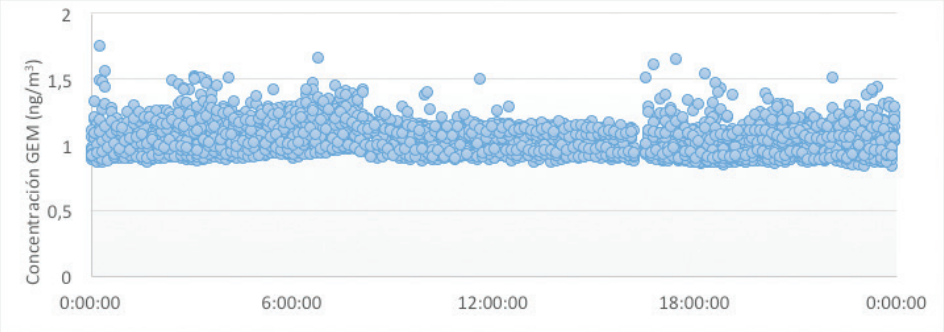


Figura 18. Concentración promedio diaria de GEM en la campaña de muestreo en Belén.

Al analizar el ciclo diurno (figura 19) tampoco se muestra algún claro comportamiento que pueda ser explicado por otros fenómenos. Las concentraciones se mantienen constantes indiferentemente de la hora de muestreo y de las condiciones ambientales cambiantes durante el día y la noche.

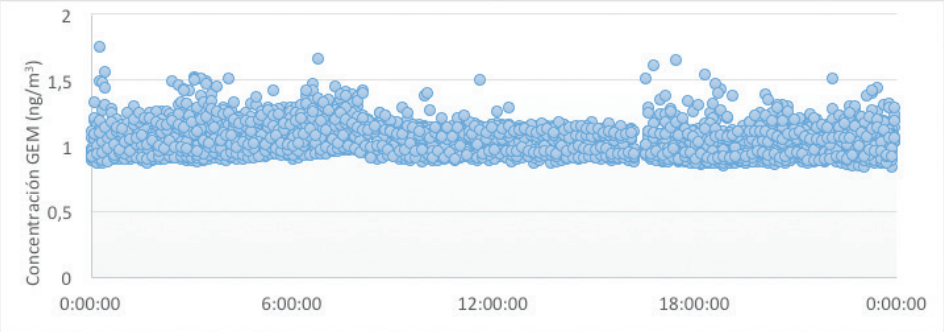


Figura 19. Ciclo diurno de las concentraciones de GEM en la campaña de muestreo en La Asunción de Belén (GMT -6)

Si se analiza la siguiente figura se puede observar que durante la campaña de muestreo en La Asunción los vientos predominantes fueron del sureste al noroeste.



Figura 20. Punto de muestreo y comportamiento de los vientos desde un punto de referencia durante la campaña de muestreo en Belén (Datos meteorológicos proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional, Imagen tomada de google Earth).

Se han llevado a cabo diversos estudios del GEM en aire ambiente en sitios cercanos a actividades industriales. Por ejemplo, en Estados Unidos un estudio llevado a cabo por Lindberg and Price (1999) encontró concentraciones en el rango de 2,37 a 40 ng/m^3. De igual forma, en un estudio llevado a cabo en Seúl, Korea se encontraron concentraciones de mercurio en aire ambiente entre 0,73 y 9,47 ng/m^3 (Kim *et al.*, 2001). Incluso en China se encontraron concentraciones más altas entre 1,6 y 473,6 ng/m^3 (Li *et al.*, 2010).

Es posible que el mercurio elemental que podría provenir de las distintas actividades cercanas al sitio de muestreo en Belén, reaccione rápidamente mediante procesos oxidativos transformándose en otras especies, por lo que no pueden ser detectadas por el equipo utilizado en este estudio.

3.3 Zona de Dulce Nombre-Aguas Calientes, Cartago

3.3.1 Descripción del sitio de muestreo: Dulce Nombre y Aguas Calientes, Cartago

El monitoreo en aire se llevó a cabo en las cercanías de Dulce Nombre de Cartago. El muestreo se llevó a cabo del 08 al 15 de marzo del 2016.



Figura 21. Sitio de muestreo en Dulce Nombre, Cartago.

Adicionalmente. el día 08 de junio del 2016 se tomaron muestras de agua y sedimento del Río Aguas Calientes y de suelo cercano. Los puntos se detallan en la siguiente figura.

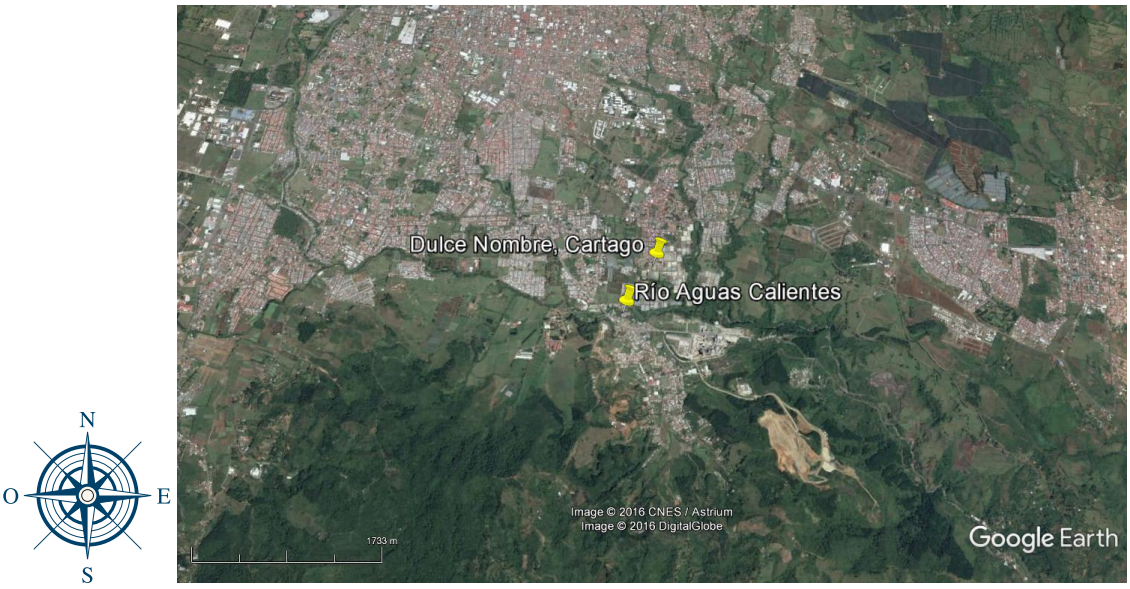


Figura 22. Puntos de muestreo en la zona Dulce Nombre – Aguas Calientes, Cartago (Imagen de Google Earth).

3.3.2 Concentraciones de mercurio en aire

La concentración promedio de mercurio elemental gaseoso encontrado en este sitio fue de 1,9 ng/m^3. Este valor se considera normal dentro del rango mundial de mercurio ya mencionado anteriormente. Sin embargo, en este sitio de muestreo las concentraciones obtenidas presentaron una desviación estándar de aproximadamente 0,9 ng/m^3 evidenciando una mayor variabilidad en el comportamiento del mercurio elemental en comparación con otra zona residencial con influencia industrial como La Asunción en Belén.

Como se observa en la figura 23, las concentraciones de mercurio elemental en el aire muestran un patrón de comportamiento cíclico, donde se presentan diversos picos de manera periódica. Además, se observa que hubo valores máximos de hasta 9,5 ng/m^3 con valores igualmente altos en otros momentos de la campaña.

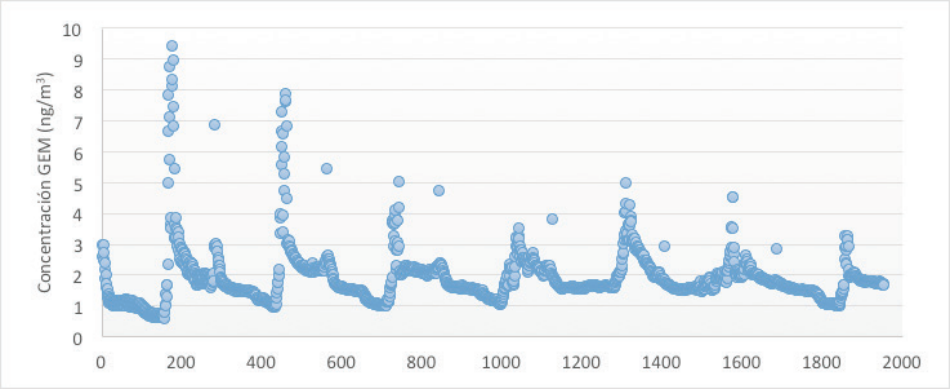


Figura 23. Consecutivo de las mediciones en la campaña Dulce Nombre de Cartago

El promedio diario durante la campaña de muestreo se muestra en la figura 24. Como se puede observar, los datos promediados en 24 horas no muestran una diferencia significativa entre cada día de muestreo con valores cercanos al rango de 1 – 2 ng/m^3. Este comportamiento diario nos indica que el comportamiento cíclico de los datos no se da de forma diaria sino de forma horaria.

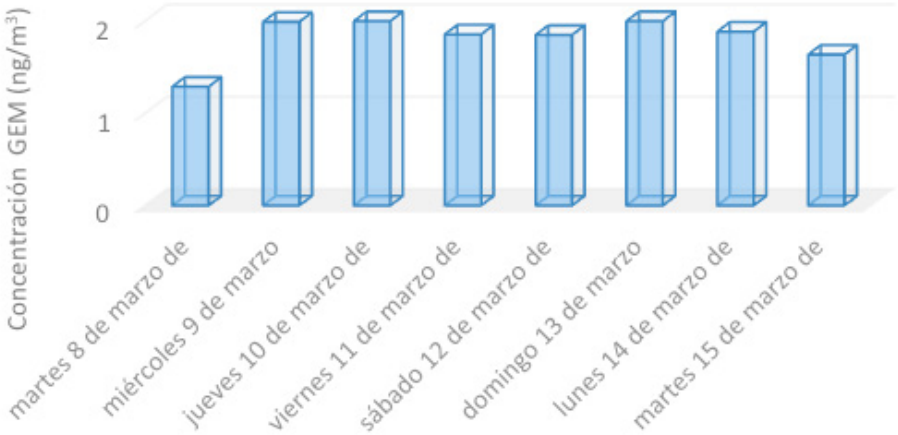


Figura 24. Promedios diarios de concentración de GEM en la campaña Dulce Nombre de Cartago

En la figura 25 se observa el ciclo diurno de las concentraciones de GEM, así como los valores de temperatura atmosférica y velocidad y dirección del viento para dicha escala temporal.

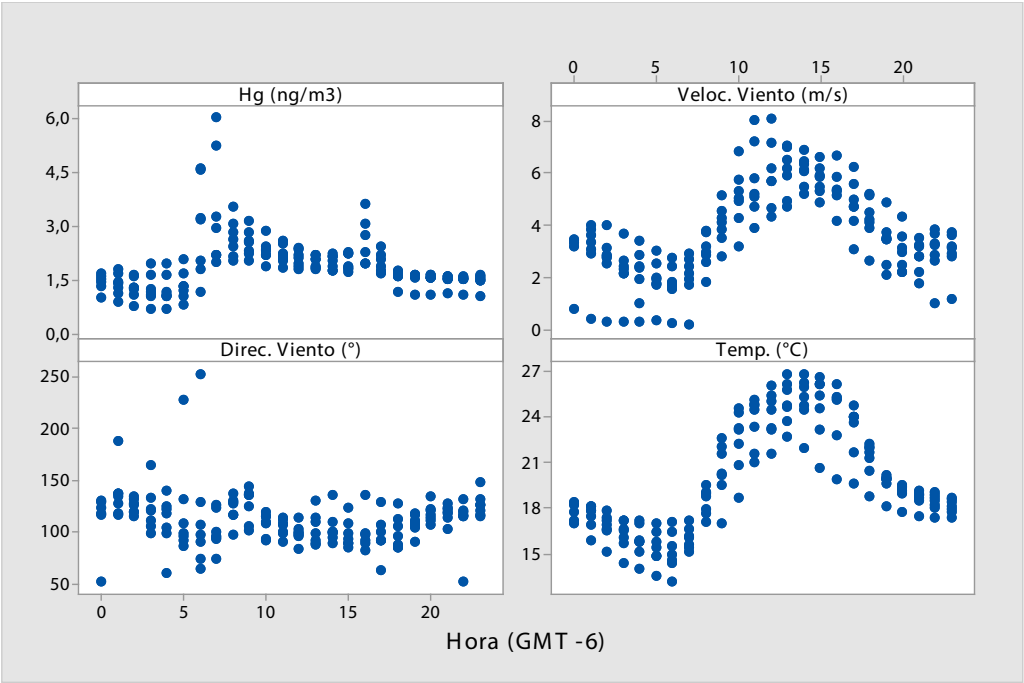


Figura 25. Ciclo diurno de GEM y variables meteorológicas en la campaña en Dulce Nombre de Cartago.

Al analizar el ciclo diurno (figura 25) se puede denotar que los picos con los niveles más altos de mercurio elemental en el aire se presentan con dos tendencias horarias de valores altos entre 06:00 y 07:00 (GMT -6) y alrededor de las 17:00 (GMT -6). La temperatura atmosférica presenta un comportamiento ascendente entre las 05:00 (GMT -6) y las 12:00 (GMT -6) el cual es consistente con el comportamiento típico de la incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre. Además, es posible que estos aumentos en la radiación y temperatura son los causantes del aumento en las velocidades del viento observados durante estas horas.

Por otra parte, las direcciones de los vientos predominantes durante la campaña de muestreo provenían de las direcciones este-sureste como se puede destacar del ciclo diurno y se observa en la figura 26.



Figura 26. Punto de muestreo y comportamiento de los vientos desde el sitio de muestreo en Dulce Nombre de Cartago (Imagen de Google Earth ©)

Las concentraciones altas en horas de la mañana han sido encontradas en otras zonas urbanas y se fundamentan en diversos procesos. Por ejemplo, se considera que la radiación solar puede promover la reducción del mercurio particulado (depositado durante la noche) a su forma elemental Hg (0), para posteriormente reemitido a la atmósfera cercana aumentando las concentraciones del GEM (Schroeder and Munthe, 1998).

También se considera que al producirse el calentamiento de la superficie en las primeras horas de la mañana se produce una posible mezcla de flujos descendentes del GEM de las partes altas de la atmósfera cercana hacia la superficie aumentando así la concentración en este período del día (Stamenkovic *et al*., 2007).

Otra posible fuente de mercurio gaseoso elemental en este sitio de estudio corresponde a las concentraciones de origen antropogénicas, es decir; producidas directamente por las actividades humanas. El ciclo diurno observado corresponde al patrón típico de influencia vehicular e industrial que se genera comúnmente en las zonas urbanas. La presencia de altas concentraciones de gases de combustión y partículas de fuentes móviles o fijas que en conjunto con la fotoquímica promueven reacciones secundarias capaces de acelerar la acumulación de contaminantes en la atmósfera baja. Estos procesos serían capaces de explicar el pico de concentración observado entre las 16:00 y 18:00 (GMT -6) del ciclo diurno de mercurio gaseoso elemental.

3.3.3 Concentraciones de mercurio en agua y sedimento de río

Como se mencionó anteriormente, se analizó una muestra de agua y sedimento del Río Aguas Calientes, con el fin de conocer la concentración de mercurio total. Las concentraciones obtenidas se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Concentraciones de mercurio en aguas y sedimentos del Río Aguas Calientes, Cartago

N°	Sitio de muestreo	Latitud (grados decimales)	Longitud (grados decimales)	Concentración de Hg en agua (ng/l)	Concentración de Hg en sedimento (mg/kg)
1	Río Aguas Calientes (cercanía del Liceo Daniel Oduber Quirós)	9,834786	-83,911997	37,1	23,3

La concentración de 37,1 ng/l mercurio total en agua de río encontrada en Cartago es similar a la encontrada en la zona minera de Abangares (rango 15,195 – 58,145). Además, el valor obtenido de mercurio total en el sedimento tomado en el Río Aguas Calientes fue de 23,3 mg/kg. Dichas concentraciones tanto en aguas naturales como en sedimentos se consideran bajas al ser comparadas con las concentraciones reportadas en otros estudios. El efecto de dilución que se da en los ríos en conjunto con la preferencia anteriormente mencionada del mercurio a enlazarse a la materia orgánica podrían ser los fenómenos que favorecen la baja presencia de mercurio total en los ríos analizados en este estudio.

3.3.4 Concentraciones de mercurio en suelo

El mercurio total encontrado en la muestra de suelo cercano al Río Aguas Calientes fue de 1,05 mg/kg. A nivel nacional, y tomando como referencia el Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados por emergencias ambientales y derrames N° 37757-S, no se sobrepasa el valor de intervención de mercurio total en zonas industriales, residenciales o agrícolas de 70, 36 y 12 mg/kg respectivamente. Cabe resaltar que este valor es una simple referencia ya que ésta muestra de suelo no pertenece a un ente generador específico ni está sujeta a las especificaciones técnicas de toma de muestra que determina dicho reglamento.

Por otro lado, a nivel internacional la concentración encontrada en el suelo no sobrepasan los valores estandarizados en la guía estadounidense de calidad de suelos para hábitat y agricultura de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) y la guía del Concejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente para calidad de suelos (CA-SQG). Se considera una concentración baja de mercurio en el suelo cuando el valor se encuentra en el rango de 0,01 – 0,03 mg/kg (Senesi *et al*. 1999). La concentración de mercurio total encontrada en esta muestra de suelo se puede atribuir al aporte de la composición de los suelos y al aporte antropogénico que favorezca la deposición de mercurio asociado a partículas.

3.4 Zona de baja influencia antropogénica: Parque Nacional Cahuita, Limón

3.4.1 Descripción del sitio de muestreo

En este sitio se realizó un monitoreo de mercurio elemental en el aire con el fin de contar con un lugar remoto, de baja influencia antropogénica, que permitiera medir las concentraciones de fondo ("background") que pueden esperarse a la entrada de vientos del Caribe hacia el centro del país. El equipo se colocó dentro de las instalaciones de los guarda parques frente al mar, del 06 al 15 de abril del 2016.



Figura 27. Ubicación del equipo de medición de aire en las instalaciones de guardaparques.

3.4.2 Concentraciones de mercurio en aire

La concentración promedio del GEM durante la campaña en el Parque Nacional Cahuita fue de 1,454 ng/m^3; dicho valor se encuentra dentro de la media mundial. Al analizar el consecutivo de mediciones se denota que en este sitio también se observó un comportamiento cíclico como se muestra en la figura 28.

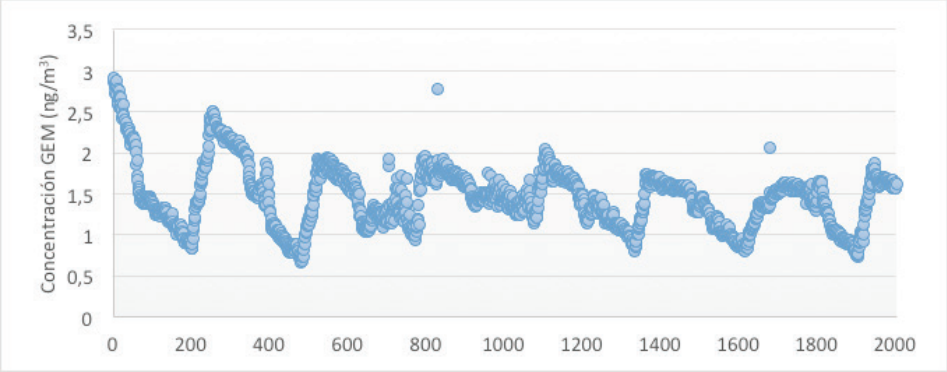


Figura 28. Consecutivo de las mediciones en la campaña Cahuita

Los promedios diarios del GEM en el sitio no presentaban diferencias significativas con valores en el rango 1-2 ng/m^3 como se puede observar en la figura 29.

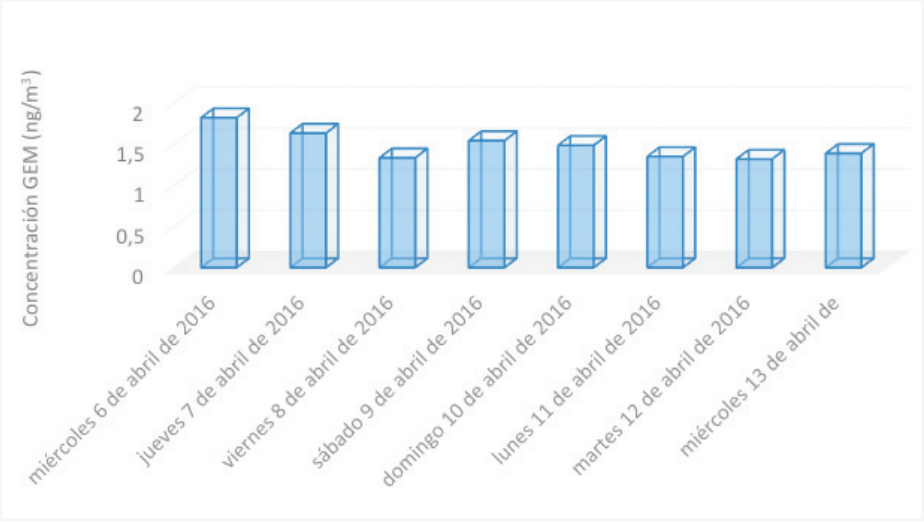


Figura 29. Promedios diarios de concentración de GEM en la campaña Cahuita

Sin embargo, al analizar el Ciclo diurno de las concentraciones de GEM presentado durante la campaña de medición (figura 30) se puede observar que el comportamiento cíclico presentado en las mediciones del mercurio gaseoso elemental corresponde a un comportamiento horario con valores crecientes a partir de las 05:00 (GMT -6) con valores máximos que se mantienen estables a partir de las 10:00 (GMT -6) y que comienzan a descender a partir de las 17:00 (GMT -6).

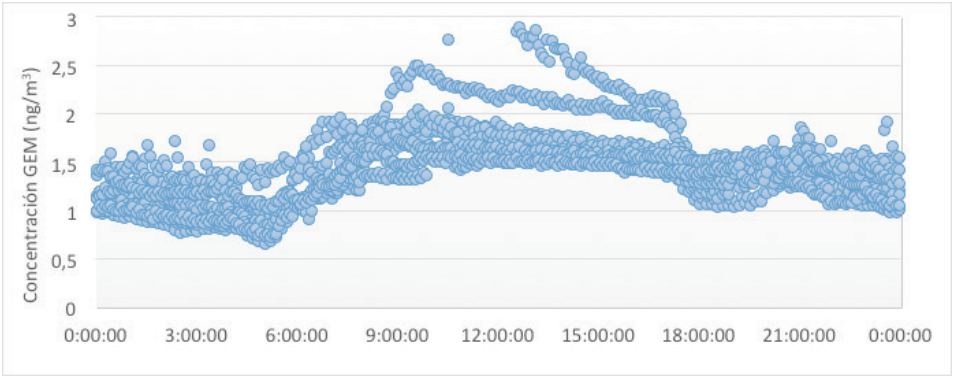


Figura 30. Ciclo diurno de las concentraciones de GEM en la campaña de muestreo en Cahuita (GMT -6)

La velocidad y dirección de los vientos durante la campaña de muestreo fueron congruentes con el clima característico de la zona para esta época del año con vientos que provienen del Mar Caribe durante horas del día en dirección noreste. Posteriormente, durante la noche y con una mayor intensidad, los vientos cambian de dirección proviniendo principalmente de los sistemas montañosos que se encuentran en el suroeste, saliendo entonces de la masa continental e incorporándose al mar.



Figura 31. Punto de muestreo y comportamiento de los vientos desde el sitio de muestreo en el Parque Nacional Cahuita (Imagen de Google Earth ©)

El comportamiento observado en el sitio remoto es congruente con el comportamiento ciclo típico del GEM donde los océanos corresponden a uno de sus mayores sumideros debido a su capacidad de reaccionar y convertirse en otras especies solubles que se depositan en dichos cuerpos de agua donde se favorece la bioacumulación en diversas especies marinas.

Las variables meteorológicas favorecen el comportamiento visto en Cahuita ya que las altas temperaturas oceánicas, la radiación solar y la velocidad y dirección el viento promueven la remisión del mercurio reactivo previamente depositado en el mar bajo otras condiciones y su consecuente reconversión a GEM. Esto explica el ciclo diurno observado en esta campaña (Stamenkovic *et al.*, 2007).

3.5 Zona de influencia Volcánica: Irazú -Turrialba

3.5.1 Descripción del sitio de muestreo: Cercanías al Parque Nacional Volcán Turrialba

El monitoreo de mercurio elemental en aire se hizo en una caseta propiedad del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) ubicada a un costado del Volcán Irazú (figura 32). Debido a su ubicación geográfica este sitio recibe constantemente la influencia de la pluma del Volcán Turrialba el cuál ha presentado actividad desde octubre del año 2015 y de manera más intensa durante este año 2016. La campaña de muestreo del GEM se llevó a cabo del 10 al 22 de febrero del 2016.



Figura 32. Caseta de monitoreo al costado del Volcán Irazú.

Posteriormente se llevó a cabo una gira el día 08 de junio del 2016 en los alrededores del Volcán Turrialba, específicamente en las zonas de La Silvia, La Picada y La Central. En conjunto con personal del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI) se realizaron tomas de muestras de aguas, sedimentos y vegetación en lugares impactados por la creciente actividad del Volcán Turrialba con el fin de determinar su concentración de mercurio total.

La amplia actividad presentada por el Volcán Turrialba desde noviembre del 2014, afecta no solo las zonas cercanas a esta fuente natural, sino también a gran parte del área metropolitana de Costa Rica. La presencia de ceniza volcánica ha sido constante y para las fechas de muestreo de este estudio existía presencia de ceniza en fincas cercanas al volcán, por lo que se procedió a la toma de muestras de vegetación. Se recolectaron hojas de repollo, repollo entero, hojas de papa, papas, pastizales para ganadería y hojas de arbustos afectados con la presencia de ceniza volcánica.





Figura 33. Campo de cultivo de repollo y pastizal impactados por el volcán.

Las muestras de agua se tomaron en dos quebradas cercanas al volcán, donde también se recolectaron muestras de sedimentos.

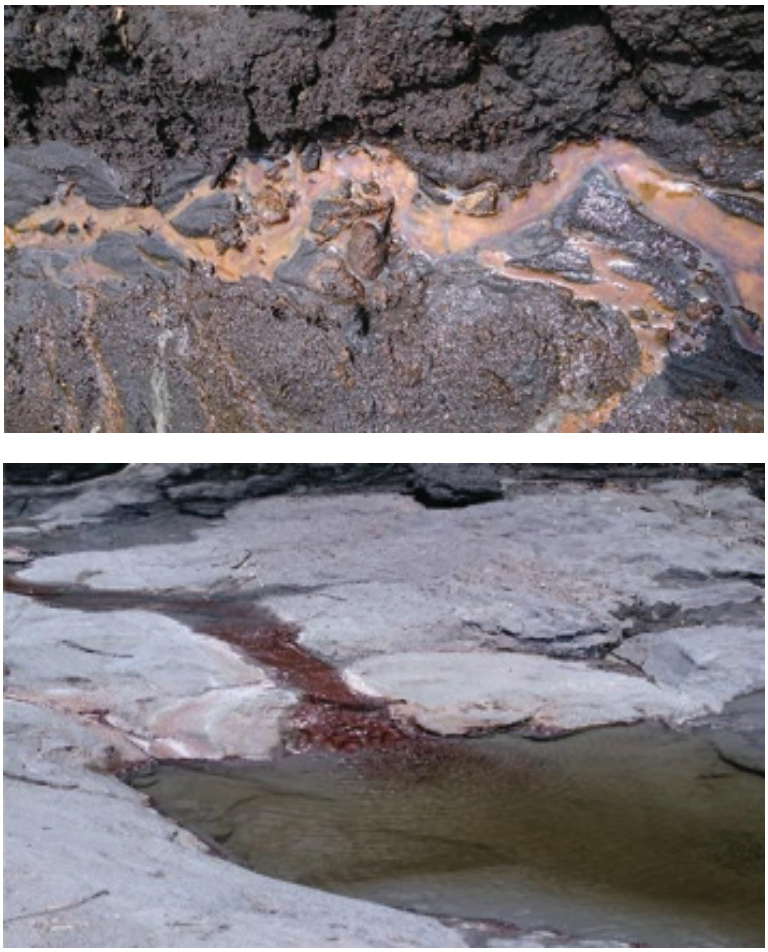


Figura 34. Cuerpos de agua en los alrededores del volcán.

Finalmente, por la zona de La Picada (la más directamente impactada por el volcán) se tomaron muestras del suelo cubierto por la ceniza volcánica (Figura 35).



Figura 35. Zona de La Picada, alrededor del Volcán Turrialba.

En total se visitaron 7 puntos de muestreo donde se recolectaron diferentes tipos de muestras medioambientales, las cuales se resumen en el cuadro 9.

Cuadro 9. Tipos de muestras recolectadas en los sitios visitados.

Punto	Descripción del lugar	Tipos de muestras
1	Finca de cultivo de repollo	Suelo y biota (hojas)
2	Finca Ganadera	Biota (pastos)
3	Pastizal para ganado	Biota (pastos)
4	Quebrada La Palma	Agua, sedimento
5	Quebrada Paredes (La Silvia)	Agua, sedimento, suelos
6	Naciente Miravalles, cerca de la cima	Agua, biota (pastos, hojas)
7	Finca de cultivo de papa	Biota

Los puntos de muestreo estuvieron distribuidos espacialmente alrededor del volcán Turrialba como se aprecia en la siguiente figura. Donde los puntos 4, 5 y 6 estuvieron dentro de la zona de mayor impacto por caída de ceniza e influencia de la pluma de emisión volcánica del cráter principal.

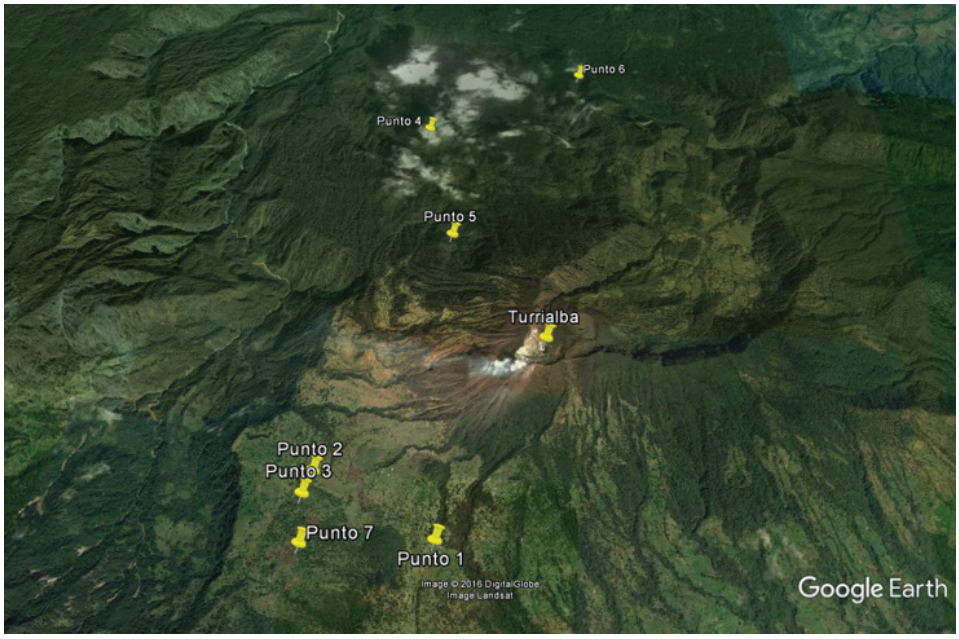


Figura 36. Puntos de muestreo de diferentes matrices en las cercanías del Volcán Turrialba (Imagen de Google Earth ©)

3.5.2 Concentraciones de mercurio en aire

Los valores del GEM en la zona del Volcán Irazú se encontraron en el rango 0,521 – 1,403 ng/m^3. La concentración promedio durante la campaña de muestreo fue de 0,816 ng/m^3, siendo esta la concentración promedio más baja de todas las campañas de muestreo incluidas en este estudio.

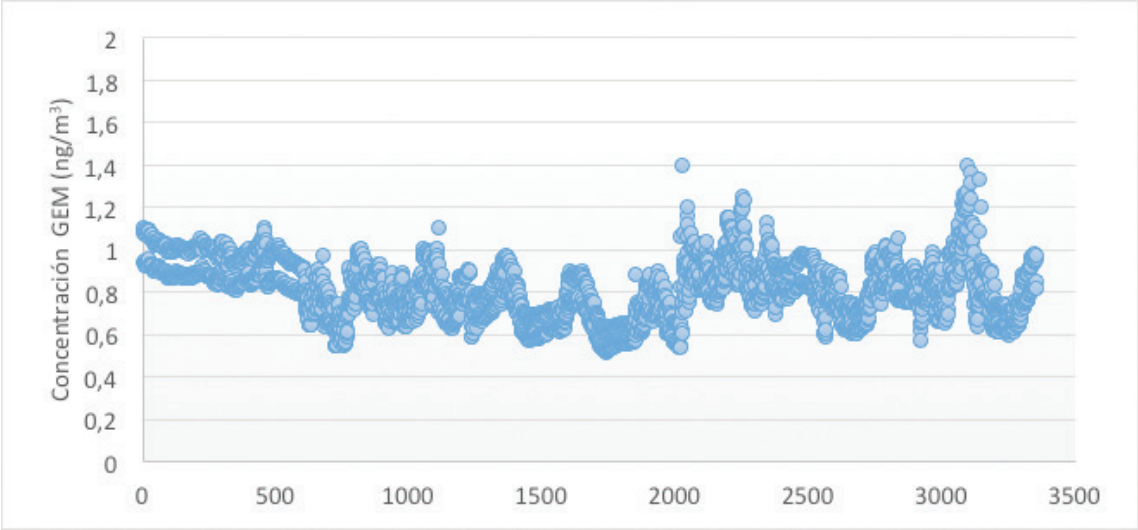


Figura 37. Consecutivo de las mediciones en la campaña Irazú

Los valores promedio diarios de GEM se encontraron por debajo de los 2 ng/m^3 siendo este un valor normal dentro del promedio mundial para sitios remotos o con baja influencia de emisiones directas. No se encuentra alguna diferencia marcada entre los diferentes días de muestreo (figura 38) presentando concentraciones similares indistintamente del día de la semana. Esto a pesar de tener una clara influencia

volcánica demostrada con el comportamiento local de los vientos y estar relativamente cerca del Volcán Turrialba (alrededor de 16 km).

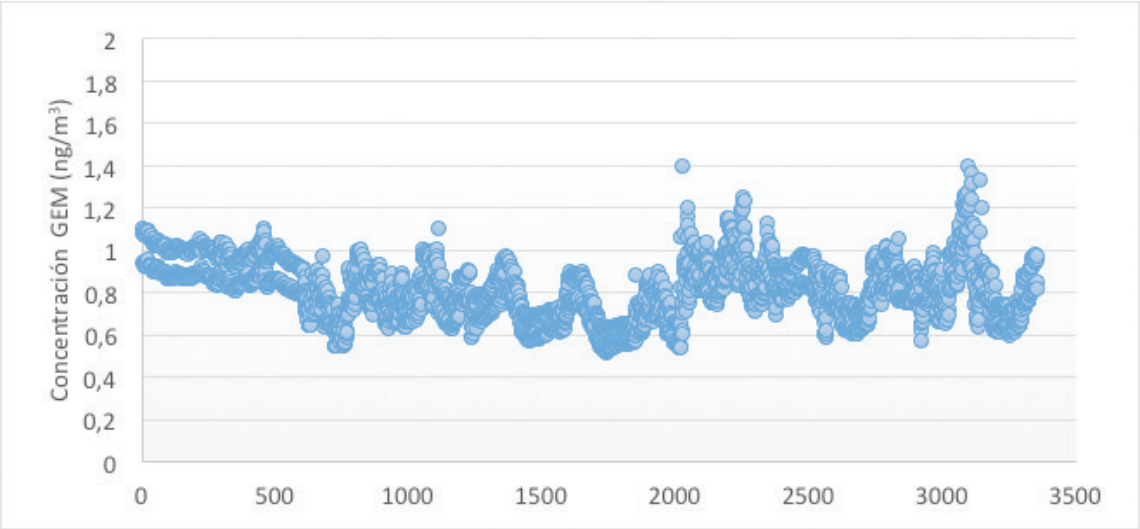


Figura 38. Promedios diarios de concentración de GEM de la campaña en Irazú.

Al analizar el ciclo diurno del GEM en el Volcán Irazú (figura 39), se observa que existe una ligera tendencia a crecimiento en las concentraciones a partir de las 07:00 (GMT -6) y decreciendo alrededor de las 17:00 (GMT -6). Sin embargo, este comportamiento se da un rango de concentración muy bajo. Este comportamiento cíclico entre días que puede deberse a procesos de deposición y re-emisión en área aledañas del punto de muestreo, similares a los explicados anteriormente.

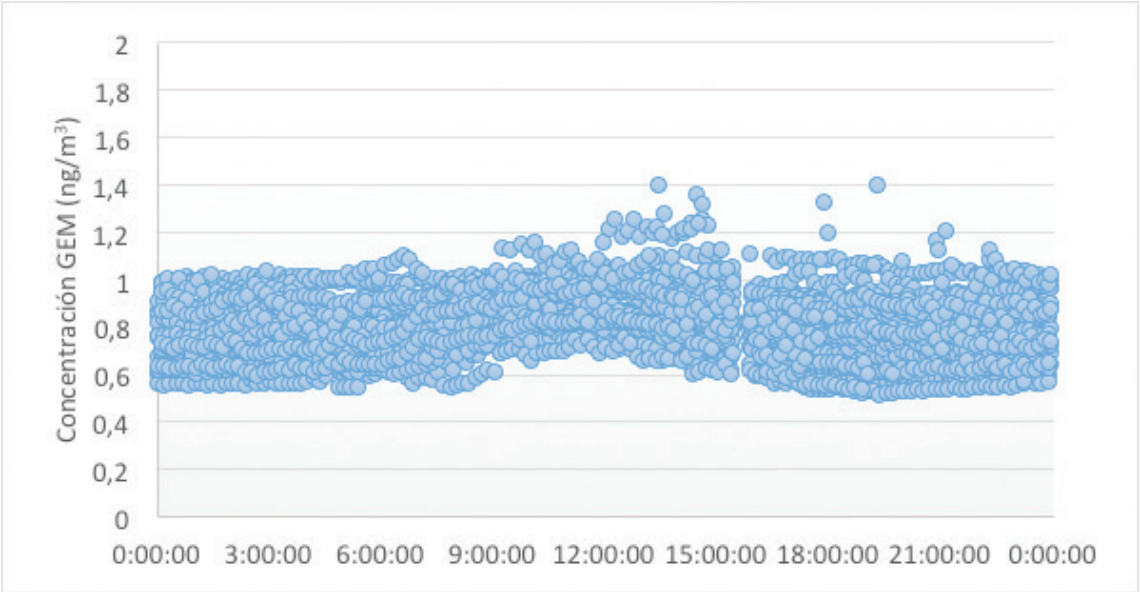


Figura 39. Ciclo diurno de las concentraciones de GEM en la campaña de muestreo en el Volcán Irazú (GMT -6)

A pesar de que la dirección del viento (figura 40) indicó que durante toda la campaña hubo una alta probabilidad de haber recibido la pluma del Volcán Turrialba, las concentraciones de mercurio gaseoso elemental no sufrieron mayor variación y se mantuvieron dentro de la media mundial. Este comportamiento sugiere dos posibilidades que puedan darse de forma aislada o simultánea: que por la distancia de la fuente las condiciones meteorológicas favorezcan una amplia dispersión hasta el punto de muestreo; y/o que el mercurio gaseoso elemental emitido por el Volcán Turrialba se oxide rápidamente en la pluma y durante su transporte, transformándose en mercurio elemental reactivo o asociado a una partícula suspendida en el aire.

En otros estudios realizados en zonas muy cercanas a un cráter volcánico, pero fuera del impacto directo de la pluma, se han reportado niveles de fondo promedio de 20 ng/m^3, mientras que viento a favor de la pluma y cerca del cráter se han encontrado valores de hasta 350 ng/m^3 (Martin *et al.*, 2012). Sin embargo cada sistema volcánico tiene sus particularidades.



Figura 40. Punto de muestreo en la zona con influencia volcánica (Imagen de Google Earth).

3.5.4 Concentraciones de mercurio en suelo

En el cuadro 10 se pueden observar los resultados obtenidos para las muestras de suelo recolectadas en la finca de cultivo de repollo y en la zona más impactada (La Silvia).

Cuadro 10. Resultados de los niveles de mercurio encontrados en suelos cercanos al Volcán Turrialba.

Punto	Descripción de la muestra	Concentración (mg/kg)
1	Suelo con ceniza alrededor de la finca de cultivo de repollo	5,732
5	Suelo debajo de la capa de ceniza alrededor de la Quebrada Paredes (La Silvia)	0,978
5	Suelo con ceniza alrededor de la Quebrada Paredes (La Silvia)	13,568

La muestra del punto 1 fue tomada alrededor de la finca de cultivo de repollo y corresponde a una zona no tan impactada por la caída de ceniza volcánica y el valor obtenido de mercurio total fue de 5,732

mg/kg de mercurio total. Análogamente, la concentración del suelo con ceniza alrededor de La Silvia (la cuál es una de las zonas más impactadas) presentó un valor de 13,568 mg/kg. La concentración de mercurio total en la zona más impactada por la caída de ceniza volcánica fue entonces mayor que la zona geográfica menos impactada.

Al analizar los resultados en dos niveles del suelo de un mismo punto geográfico (superficial y debajo de la capa de ceniza) realizado en la zona más impactada de La Silvia, se evidencia el aporte de mercurio total por parte de la ceniza acumulada por la reciente actividad volcánica con un valor de 13,568 mg/kg en la parte superficial y 0,978 mg/kg en la capa inferior al suelo con ceniza superficial.

El suelo con ceniza alrededor de la Quebrada Paredes (La Silvia) presentó la concentración más alta de mercurio total con un valor que sobrepasa la concentración recomendada por la guía del Concejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente para calidad de suelos (CA-SQG) para suelos residenciales y utilizados para la agricultura (6,6 mg/kg), siendo esta la referencia más rigurosa encontrada a nivel internacional. De igual forma, a nivel de normativa nacional, se estaría sobrepasando el valor de intervención de 12 mg/kg estipulado en el Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados por emergencias ambientales y derrames N° 37757-S para suelos agrícolas.

La concentración total en los suelos depende de muchos factores propios de cada sitio específico. Estas condiciones pueden favorecer procesos de adsorción o desfavorecer procesos de volatilización o transformación del mercurio. Dichos procesos relacionados al mercurio total varían de acuerdo al uso del suelo (uso residencial, uso industrial, uso para agricultura, entre otros) y sus propiedades físico-químicas. Por ejemplo, la cantidad de materia orgánica presente en la composición del suelo aumenta la capacidad del mercurio retenido en esta matriz (Martínez-Trinidad *et al.*, 2013).

3.5.5 Concentraciones de mercurio en aguas y sedimentos de río

Las concentraciones obtenidas de mercurio en aguas y sedimentos de ríos en las zonas aledañas al Volcán Turrialba se muestran en el cuadro 11.

Cuadro 11. Resultados de los niveles de mercurio encontrados en los ríos cercanos al Volcán Turrialba.

Punto	Descripción de la muestra	Concentración Agua (ng/l)	Concentración Sedimento (mg/kg)
4	Quebrada La Palma	10,000	10,754
5	Quebrada Paredes (La Silvia)	8,235	8,669
6	Naciente Miravalles, cerca de la cima	14,600	No aplica

Las concentraciones de mercurio total en las aguas naturales y los sedimentos son similares a las encontradas en las otras zonas analizadas en este estudio con valores bajos. Inclusive para el caso de la naciente, a pesar de estar severamente impactada por la actividad volcánica, la concentración de mercurio total soluble estuvo por debajo del valor máximo admisible de 0,001 mg/l establecido en el decreto No 38924-S Reglamento para la calidad del Agua Potable.

3.5.3 Concentraciones de mercurio en biota

Las concentraciones de mercurio total encontrado en las distintas muestras de biota se detallan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Resultados de los niveles de mercurio encontrados en distintos tipos de biota alrededor del Volcán Turrialba.

Punto	Descripción de la muestra	Concentración (mg/kg)
1	Hojas de la planta del repollo	0,086
2	Pasto de Finca Ganadera	0,073
3	Pastizales	0,096
6	Pastos cerca de la Naciente Miravalles	1,088
6	Hojas de arbustos, cerca de la Naciente Miravalles	0,036
7	Hojas de la planta de la papa	0,080
7	Cáscara de papas pequeñas*	< 0,009
7	Contenido de papas pequeñas*	< 0,004
* Menor al límite de detección.		

Las plantas asimilan el mercurio orgánico e inorgánico a través de sus raíces y es transportado a su follaje. Algunos estudios indican que la absorción del mercurio a través de las raíces es proporcional a la concentración en suelo circundante (Temmerman *et al*., 2009). La concentración del mercurio en el suelo está relacionada a la exposición del GEM, que puede provenir de una fuente como los volcanes, y su capacidad de transformarse a otras especies que puedan llegar a los suelos por deposición húmeda o seca.

Al analizar las concentraciones obtenidas de mercurio total en las hojas tanto de repollo como de papa se denota que las concentraciones son muy similares con valores de 0,086 y 0,080 mg/kg. Se han llevado a cabo estudios en otros cultivos de importancia como el maíz en zonas con actividades potenciales de exposición de mercurio; como en San Joaquín-México (zona de abundante minería de oro) y donde se encontraron concentraciones en el rango de 0,1 a 8,2 mg/kg de mercurio total en hojas (Martínez-Trinidad *et al*., 2013).

Por otro lado, las concentraciones de mercurio total en la cáscara de papa y en papa pequeña se encontraron por debajo del límite de detección. Estos resultados son congruentes con diversos estudios donde se ha determinado que el mercurio tiende a concentrarse en las hojas y en la raíces principalmente (Martínez-Trinidad *et al*., 2013).

Las muestras de pastos presentaron las concentraciones más altas de mercurio total en biota con valores de 0,073, 0,096 y 1,088 mg/kg. El gran área de contacto de los pastizales, así como su composición físico química, pueden influenciar la adsorción del mercurio ambiental. Sierra *et al*. (2009) menciona que la legislación Europea establece un límite de 0,1 mg/kg de mercurio total para alimento de ganado. Basados en este limite el pasto ubicado cerca de la naciente Miravalles no estaría cumpliendo con dicha normativa por lo que no sería recomendable la utilización de este para el alimento de ganado con el fin de evitar su bioacumulación en animales.

3.6 Comparación de resultados entre todas las zonas de muestreo

Los resultados de las mediciones de mercurio elemental en el aire, obtenidos para las cinco campañas realizadas, se resumen en el siguiente cuadro.

Cuadro 13. Resumen de los datos estadísticos obtenidos para las cinco campañas

Lugar	Volcán Irazú	La Asunción de Belén	Dulce Nombre de Cartago	Las Juntas de Abangares	Parque Nacional Cahuita
Fecha inicio	10/02/2016	26/02/2016	08/03/2016	16/03/2016	06/04/2016
Fecha final	22/02/2016	07/03/2016	15/03/2016	01/04/2016	15/04/2016
Días	10	10	7	16	9
Promedio (ng/m^3)	0,816	1,054	1,895	11,007	1,454
Máximo (ng/m^3)	1,403	4,475	9,453	244,485	2,912
Mínimo (ng/m^3)	0,521	0,836	0,623	1,725	0,672
Desviación Estándar (ng/m^3)	0,133	0,134	0,857	15,770	0,347

El sitio con la mayor concentración promedio de GEM fue Las Juntas de Abangares – Guanacaste donde la actividad minera podría ser la principal fuente emisora de dicha especie en la atmósfera. En la siguiente figura se muestran los resultados promedio para todas las campañas de monitoreo en aire.

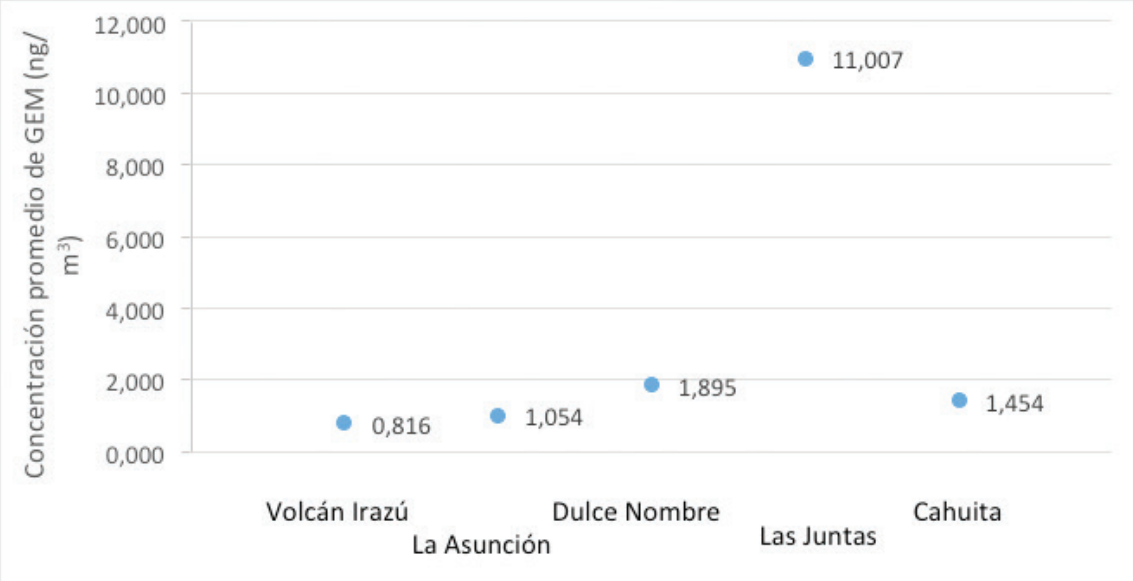


Figura 41. Concentración promedio GEM en todas las campañas de muestreo.

El sitio con la menor concentración promedio fue en el Volcán Irazú, donde la incidencia de la actividad del Volcán Turrialba no generó variaciones en los perfiles de emisión del GEM, a pesar de que la literatura indica que los volcanes son una de las principales fuentes de origen natural de mercurio gaseoso. Cabe la posibilidad que el mercurio elemental reaccione rápidamente con la presencia de otras especies oxidantes convirtiéndose en mercurio reactivo o mercurio ligado a partículas.

Los valores máximos de GEM observados durante todas las campañas son principalmente importantes los obtenidos de la actividad minera (244,485 ng/m^3) y de la actividad industrial incluyendo industria cementera (9,453 ng/m^3). Como ya se mencionó en sus respectivos apartados, parece que las actividades antropogénicas son las responsables de las altas concentraciones encontradas en los respectivos sitios.

Los patrones en las concentraciones del GEM analizadas en Abangares y Dulce Nombre de Cartago, en conjunto con el análisis de las variables meteorológicas de las zonas de estudio fueron utilizadas para

intentar dilucidar estas mayores variaciones en las concentraciones del GEM en donde se presentaron los valores máximos de este estudio.

Las dispersión de las concentraciones encontradas se denotan con el dato de la desviación estándar de las campañas de muestreo, donde de nuevo la zona de Abangares y Dulce Nombre de Cartago presentan los valores más altos: 15,770 y 0,857 respectivamente. Esto quiere decir que no solo son las zonas donde se observaron las mayores concentraciones del GEM sino que también son las zonas con la mayor variabilidad en los perfiles de concentración.

El sitio remoto del Parque Nacional Cahuita presentó una concentración promedio intermedia con respecto a los otros sitios de muestreo con un valor de 1,454 ng/m^3. Como fue analizado en su respectiva sección este sitio presentó un comportamiento típico de una zona con influencia natural del mercurio proveniente de los océanos. La desviación estándar de las concentraciones también fue intermedia con un valor de 0,347 ng/m^3 y fue claramente marcada en el ciclo diurno encontrado en este sitio.

Las zonas con la menor concentración promedio del GEM durante las campañas de muestreo fueron La Asunción – Belén y el Volcán Irazú con valores de 1,054 y 0,816 ng/m^3 respectivamente. De igual forma estos sitios presentaron la menor dispersión de los datos con desviaciones estándar bajas con valores de 0,134 y 0,133 respectivamente. Estos sitios no presentaron patrones marcados en los perfiles de la concentración del mercurio gaseoso y se considera que la baja presencia de esta especie se podría deber a su rápida reacción de las fuentes potenciales respectivas convirtiéndose en otras especies de mercurio no elemental.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las concentraciones promedio del mercurio gaseoso elemental ligadas a la actividad de minería artesanal de oro fueron las más altas encontradas en este estudio preliminar. Además, la presencia de episodios agudos con altos niveles de concentración de GEM se asocia a dicha actividad. Se recomienda hacer campañas de monitoreo del GEM en más sitios cercanos esta actividad y durante campañas más prolongadas de tiempo.

La concentración de mercurio total en la salida de una de las rastras corresponde mayormente a mercurio asociado a los sedimentos y no al mercurio soluble disuelto en la fase acuosa. Este comportamiento podría repetirse en las demás rastras y se fundamenta en la afinidad de la mayoría de especies de mercurio oxidadas a disolverse en la materia orgánica debido a sus valores positivos de coeficientes de reparto. Se recomienda replicar esta prueba en mayor cantidad de rastras para poder comparar resultados.

La concentración promedio de mercurio total encontrada en los sedimentos de las lagunas de residuos de la minería artesanal (“lamas”) fue menor que la encontrada en los sedimentos que salían directamente de las rastras. De igual forma los rangos de concentración fueron menores en las lagunas de residuos. Se considera que existe un proceso de dilución del mercurio total con el volumen total de la laguna. Además, no se descarta la remisión de parte de este mercurio a la atmósfera por procesos de intercambio con la superficie.

El mercurio total encontrado en las muestras de aguas de río tomadas en zonas cercanas a la actividad minera fueron bajos al ser comparados con la literatura. Se considera que el mercurio producido por dicha actividad no estaría generando un impacto directo sobre los ríos de la zona ya que este se enlaza a los sedimentos o se emite en forma gaseosa.

El GEM determinado en la zona con actividad industrial incluyendo industria cementera presentó valores promedio dentro del rango mundial reportado por la literatura. Sin embargo, existió una mayor dispersión en las concentraciones con valores máximos que se acercan a los valores reportados para zonas industriales a nivel mundial. Se evidenció la presencia de un ciclo diurno muy marcado con concentraciones más altas durante las mañanas y las tardes. Estos patrones son asociables a eventos antropogénicos como el tráfico vehicular o actividades industriales que implican combustión que en conjunto con las variables meteorológicas generan mayores concentraciones en dichos períodos. Se recomienda analizar en un mayor período de tiempo las concentraciones de GEM en la zona, además de analizar otras especies como el dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno que puedan ser utilizados como trazadores de origen industrial o vehicular respectivamente.

Las concentraciones de GEM encontradas en el sitio remoto del Parque Nacional Cahuita, a pesar de encontrarse dentro de la media mundial, presentó un ciclo diurno muy marcado y asociado con las variables meteorológicas, así como la proximidad a un importante reservorio de mercurio como lo son los océanos. Cabe destacar que estas concentraciones promedio de GEM de origen natural fueron incluso más altas que las de otras zonas de estudio. Esto denota la existencia de las concentraciones de GEM de fondo que entran al país en forma natural y que no son asociables a actividades antropogénicas. Se recomienda estudiar este fenómeno de aporte oceánico en la costa pacífica con el fin de conocer también su influencia a las concentraciones naturales dentro del país.

Se encontraron las concentraciones más bajas GEM en la zona con influencia volcánica y la zona urbana mixta. Se considera que las bajas concentraciones encontradas en estos sitios se deben a la rápida conversión del mercurio emitido por dichas fuentes a RGM o mercurio particulado. Este fenómeno se puede atribuir a la posible alta presencia de gases oxidantes y de partículas en el ambiente. Se recomienda llevar a cabo un estudio de especiación para conocer la concentración de las otras especies de mercurio en el aire y poder tener así un perfil completo del aporte del mercurio proveniente del aporte de dichas actividades.

Las concentraciones de mercurio total en las muestras de suelos influenciados por la actividad volcánica presentaron valores más altos en las capas externas donde el efecto de la caída de ceniza es mayor. También fue mayor el aporte del mercurio total en el suelo en la zona mayormente impactada por la caída de ceniza volcánica que en una zona con menor influencia. Parece existir un aporte biogénico del mercurio total posiblemente enlazado a las partículas que son emitidas del cráter del Volcán Turrialba. Se recomienda llevar a cabo una campaña más extensiva de mercurio total y además llevar a cabo análisis de composición química y física de dichos suelos con el fin de correlacionar los resultados obtenidos en diferentes locaciones y a diferentes profundidades para obtener un mejor perfil de distribución del mercurio total en los suelos.

Las muestras analizadas de agua y sedimentos de ríos en los diferentes sitios definidos en este estudio presentaron valores cercanos y considerados bajos según la literatura. Los ríos no parecen ser un sumidero importante del mercurio ambiental en las distintas zonas con las diferentes actividades potenciales analizadas en esta investigación.

El mercurio total en las muestras de biota en las cercanías del Volcán Turrialba, indican la adsorción de mercurio principalmente en las hojas de los cultivos y en los pastizales de la zona. Se recomiendo tomar una mayor cantidad de muestras de hojas cultivos y pastizales de zonas influenciadas y no influenciadas por la ceniza volcánica y los gases emanados por dicha fuente natural de mercurio con el fin de realizar mayores y mejores comparaciones con distintas variables a seleccionar.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bolaños-Álvarez, Y., Alonso-Hernández, C.M., Morabito, R., Díaz-Asencio, M., Pinto, V., Gómez-Batista, M. (2016). Mercury contamination of riverine sediments in the vicinity of a mercury cell chlor-alkali plant in Sagua River, Cuba. Chemosphere. 152, 376-382.

Canario, J., Vale, C., Caetano, M. (2005). Distribution of monomethylmercury and mercury in surface sediments of the Tagus Estuary (Portugal). Mar. Pollut. Bull. 50, 1142-1145.

Canario, J., Vale, C., Nogueira, M. (2008). The pathway of mercury in contaminated waters determined by association with organic carbon (Tagus Estuary, Portugal). Appl. Geochem. 23, 519-528.

Cheng, I., Zhang, L., Mao, H., Dalziel, J. (2014). Seasonal and diurnal patterns of speciated atmospheric mercury at a coastal-rural and a coastal-urban site. Atmospheric Environment. 82, 193-205.

Cohen, M. (2004). Modeling the Fate and Transport of Atmospheric Mercury in the Chesapeake Bay Region. NOAA. Recuperado de http://www.arl.noaa.gov/documents/reports/Ches_Bay.pdf

Coulibaly, M., Bamba, D., Alfred, N., Guessan, E., El, M. (2016). Some aspects of speciation and reactivity of mercury in various matrices. Comptes Rendus Chimie. 19, 832-840. Recuperado de http://dx.doi.org/10.1016/j.crci.2016.02.005

De Foy, B., Tong, Y., Yin, X., Zhang, W., Kang, S., Zhang, Q., Zhang, G., Wang, X., Schauer, J. (2016). First field-based atmospheric observation of the reduction of reactive mercury driven by sunlight. Atmospheric Environment. 134, 27-39. Recuperado de http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231016301984

Fang, G., Jung, W., Cherng, J., Han, J., Liang, Y. (2011). Study of ambient air particle-bound As(p) and Hg(p) in dry deposition, total suspended particulates (TSP) and seasonal variations in Central Taiwan. Environmental Forensics. 12, 7–13.

Heyes, A., Miller, C., Mason, R.P. (2004). Mercury and methylmercury in Hudson River sediment: impact of tidal resuspension on partitioning and methylation. Mar. Chem. 90, 75-89.

Higueras, P., Oyarzun, R., Lillo, J., Sánchez-Hernández, J.C., Molina, J.A., Esbri, J.M., Lorenzo, S. (2006). The Almadén district, Spain: anatomy of one of the world's largest Hg-contaminated sites. Science of The Total Environment. 356, 112-124.

Horvat, M., Covelli, S., Faganeli, J., Logar, M., Mandic, V., Rajar, R., Sirca, A., Žagar, D. (1999). Mercury in contaminated coastal environments; a case study: the Gulf of Trieste. Sci. Total Environ. 237-238, 43-56.

Horvat, M., Nolde, N., Fajon, V., Jereb, V., Logar, M., Lojen, S., Jacimovic, R., Falnoga, I., Liya, Q., Faganeli, J., Drobne, D. (2003). Total mercury, methylmercury and selenium in mercury polluted areas in the province Guizhou, China. Sci. Total Environ. 304, 231-256.

Kim, K., Nguyen, H., Shon, Z. (2011). Mercury in air. Elsevier. 690-696. Recuperado de http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444522726007236

Kim, K.H., Kim, M.Y., Lee, G. (2001). The soileair exchange characteristics of total gaseous mercury from a large-scale municipal landfill area. Atmospheric Environment. 35, 3475 - 3493.

Kumar, S., Hyun, K., Christopher, R. (2011). Measurement techniques for mercury species in ambient air. Trends in Analytical Chemistry. 30(6), 899-917.

Li, G., Feng, X., Qiu, G., Bi, X., Li, Z., Zhang, C., Wang, D., Shang, L., Guo, Y. (2008). Environmental mercury contamination of an artisanal zinc smelting area in Weining County, Guizhou, China. Environ. Pollut. 154, 21-31.

Li, Z.G., Feng, X., Li, P., Liang, L., Tang, S.L., Wang, S.F., Fu, X.W., Qiu, G.L., Shang, L.H. (2010.) Emissions of air-borne mercury from five municipal solid waste landfills in Guiyang and Wuhan, China. Atmospheric Chemistry and Physics. 10, 3353 - 3364.

Lin, Y., Larssen, T., Vogt, R.D., Feng, X. (2010). Identification of fractions of mercury in water, soil and sediment from a typical Hg mining area in Wanshan, Guizhou province, China. Applied Geochemistry. 25, 60-68.

Lindberg, S.E., Price, J.L. (1999). Airborne emissions of mercury from municipal landfill operations: a short-term measurement study in Florida. Journal of the Air & Waste Management Association. 49, 520 - 532.

Male, Y.T., Reichelt-Brushett, A.J., Pocock, M., Nanlohy, A. (2013). Recent mercury contamination from artisanal gold mining on Buru Island, Indonesia – Potential future risks to environmental health and food safety. Marine Pollution Bulletin. Mar. 77, 428-433

Martin, R.S., Wirr, M.L.I., Sawyer, G.M., Thomas, H.E., Watt, S.F.L, Bagnato, E., Calabrese, S., Aiuppa, A., Delmelle, P., Pyle, D.M., Mather, T.A. (2012). Bioindication of volcanic mercury (Hg) deposition around Mt. Etna (Sicily). Chemical Geology 310–311, 12–22

Martínez-Trinidad, S., Hernández, G., Ramírez, M.E., Martínez, J., Solorio, G., Solís, S., García, R. (2013). Total mercury in terrestrial systems (air-soil-plant-water) at the mining región of San Joaquín, Queretaro, Mexico. Geofísica Internacional. 52(1), 43-58.

Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., Díez, S. (2015). Speciation and bioavailability of mercury in sediments impacted by gold mining in Colombia. Chemosphere. 119, 1289-1295.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). (2013). Global Mercury Assessment: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. UNEP Chemicals Branch. Recuperado de http://www.unep.org/PDF/PressReleases/GlobalMercuryAssessment2013.pdf

Qin, X., Wang, F., Dreng, C., Wang, F., Yu, G. (2016). Seasonal variation of atmospheric particulate mercury over the East China Sea, an outflow region of anthropogenic pollutants to the open Pacific Ocean. Atmospheric Pollution Research. 7(5), 876-833. Recuperado de http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2016.05.004

Qiu, G., Fenx, X., Wang, S., Shang, L. (2006). Environmental contamination of mercury from Hg-mining areas in Wuchuan northeastern Guizhou, China. Environmental Pollution. 142, 549-558.

Senesi, G.S., Baldassarre, G.,Senesi, N., Radina, B. (1999).Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. Chemosphere, 39, 343–377.

Stamenkovic, J., Lyman, S., Gustin, M.S. (2007). Seasonal and diel variation of atmospheric mercury concentrations in the Reno (Nevada, USA) airshed, Atmospheric Environment. 41, 6662 - 6672.

Sierra, M.J., Millán, R., Esteban, E. (2009), Mercury uptake and distribution in Lavandula stoechas plants grown in soil from Almadén mining district (Spain). Food and Chemical Toxicology, 47, 2761-2767.

Temmerman, L., Waegeneers, N., Claeys, N., Roekens, E. (2009). Comparison of concentrations of mercury in ambient air to its accumulation by leafy vegetables: An important step in terrestrial food chain analysis. Environmental Pollution. 157, 1337-1341.

Wang, S., Jia, Y., Wang, S., Wang, X., Wang, H., Zhao, Z., Liu, B. (2009). Total mercury and monomethylmercury in water, sediments, and hydrophytes from the rivers, estuary, and bay along the Bohai Sea coast, northeastern China. Appl. Geochem. 24, 1702 - 1711.

Weiss-Penzias, P., Gay, D., Bringham, M., Parsons, M., Gustin, M., ter Shure, A. (2016). Trends in mercury wet deposition and mercury air concentrations across the U.S. and Canada. Science of the Total Environ. 568, 546-556. Recuperado de http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.061

Zhang, H., Holmes, C., Wu, S. (2016). Impacts of changes in climate, land use and land cover on atmospheric mercury. Atmospheric Environment. 141, 230-244. doi: 10.1016/j.