

Murillo-Hernández, Julio César; Herrera-Murillo, Jorge; Sibaja-Brenes, José Pablo  
Inventario de emisiones de mercurio en Costa Rica en el 2014 utilizando la herramienta  
del PNUMA en un nivel N2

Revista de Ciencias Ambientales, vol. 52, núm. 1, enero-junio, 2018, pp. 71-93

Universidad Nacional

Heredia, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070589004>



# Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



## Inventario de emisiones de mercurio en Costa Rica en el 2014 utilizando la herramienta del PNUMA en un nivel N2

Mercury emissions inventory for 2014 in Costa Rica using the PNUMA  
Toolkit to a N2 level

Julio César Murillo-Hernández<sup>a</sup>, Jorge Herrera-Murillo<sup>b</sup>, José Pablo Sibaja-Brenes<sup>c</sup>

a Investigador en el Laboratorio de Análisis Ambiental, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica,  
ORCID ID: 0000-0003-2831-1356, [julio.murillo.hernandez@una.cr](mailto:julio.murillo.hernandez@una.cr)

b Coordinador del Laboratorio de Análisis Ambiental, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica,  
[jorge.herrera.murillo@una.cr](mailto:jorge.herrera.murillo@una.cr)

c Investigador en el Laboratorio de Química de la Atmósfera, Universidad Nacional, Costa Rica, [jose.sibaja.brenes@una.cr](mailto:jose.sibaja.brenes@una.cr)

### Director y Editor:

Dr. Sergio A. Molina-Murillo

### Consejo Editorial:

Dra. Mónica Araya, Costa Rica Limpia, Costa Rica

Dr. Gerardo Ávalos-Rodríguez. SFS y UCR, USA y Costa Rica

Dr. Manuel Guariguata. CIFOR-Perú

Dr. Luko Hilje, CATIE, Costa Rica

Dr. Arturo Sánchez Azofeifa. Universidad de Alberta-Canadá

### Asistente:

Sharon Rodríguez-Brenes

### Editorial:

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)



Los artículos publicados se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada del artículo, siempre y cuando se mencione la fuente y autoría de la obra.



# Inventario de emisiones de mercurio en Costa Rica en el 2014 utilizando la herramienta del PNUMA en un nivel N2

## Mercury emissions inventory for 2014 in Costa Rica using the PNUMA Toolkit to a N2 level

Julio César Murillo-Hernández<sup>a</sup>, Jorge Herrera-Murillo<sup>b</sup>, José Pablo Sibaja-Brenes<sup>c</sup>

Recibido: 8 de marzo, 2017. Aceptado: 14 de setiembre, 2017. Corregido: 5 de octubre, 2017. Publicado: 01 de enero, 2018.

### Resumen

El Convenio de Minamata se firmó en octubre del 2013 buscando proteger la salud humana y el medio ambiente de las liberaciones y emisiones antropogénicas tanto de mercurio elemental como de los compuestos que contienen este elemento. Al ratificar Costa Rica este instrumento, se comprometió a elaborar y mantener actualizado un inventario de las emisiones de mercurio. En el presente trabajo, se utilizó la herramienta que propone el PNUMA para generar el primer inventario de mercurio en el nivel N2 del país, que considera las liberaciones de este elemento en las matrices aire, agua, suelo, productos y residuos. Tomando como año de referencia el 2014, la estimación de la emisión de mercurio para Costa Rica fue contabilizada en 5 052 kg, con un intervalo de incertidumbre entre 2 675 kg y 10 525 kg. Los sectores más importantes, en cuanto la emisión total, fueron la extracción de oro con amalgamación (42 %), la quema informal de residuos (15 %) y el uso de amalgamas dentales (10 %). Las matrices más impactadas fueron el aire (29 %), agua (28 %) y suelo (21 %), respectivamente.

**Palabras clave:** Amalgama dental, Convenio de Minamata, contaminación por matriz, extracción de oro con amalgama, incertidumbre.

### Abstract

The Minamata Convention was signed in October 2013 to protect human health and the environment from releases and anthropogenic emissions of elemental mercury and compounds containing this element. When Costa Rica ratified this instrument, the country committed to develop and keep updated an inventory of emissions from the relevant sources of mercury. In the present work, the tool proposed by UNEP was used to generate the first mercury inventory at the N2 level of the country, which considers releases of mercury in air, water, soil, product and waste matrices. Taking 2014 as the reference year, the estimated mercury emission for Costa Rica was recorded at 5 052 kg, with an uncertainty interval between 2 675 kg and 10 525 kg; and the most important sectors in terms of the total emission were the extraction of gold with amalgamation (42 %), informal burning of waste (15 %) and use of dental amalgams (10 %). The most impacted matrices were air (29 %), water (28 %) and soil (21 %), respectively.

**Keywords:** Dental amalgam, gold extraction with amalgam, matrix contamination, Minamata Convention, uncertainty.

a Investigador en el Laboratorio de Análisis Ambiental, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica, ORCID ID: 0000-0003-2831-1356, [julio.murillo.hernandez@una.cr](mailto:julio.murillo.hernandez@una.cr)

b Coordinador del Laboratorio de Análisis Ambiental, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica, [jorge.herrera.murillo@una.cr](mailto:jorge.herrera.murillo@una.cr)

c Investigador en el Laboratorio de Química de la Atmósfera, Universidad Nacional, Costa Rica, [jose.sibaja.brenes@una.cr](mailto:jose.sibaja.brenes@una.cr)

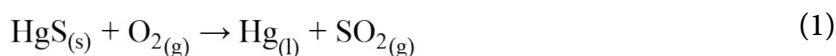


## 1. Introducción

El Convenio de Minamata sobre el Mercurio fue firmado en octubre del 2013 durante la Conferencia de Plenipotenciarios en Japón. Este es un primer paso en la lucha contra la contaminación mundial por mercurio, que en el 2010 ascendió a 1 960 toneladas en todo el mundo (UNEP, 2013). Costa Rica es uno de los países que firmó el convenio, el cual fue ratificado por la Asamblea Legislativa mediante la aprobación de la Ley 9391, publicada en La Gaceta 226 del 21 de octubre del 2016 (Ley 9391, 2016). El Convenio establece como su objetivo la protección de la salud humana y del medio ambiente de las liberaciones y emisiones antropogénicas de mercurio elemental y compuestos con este elemento.

En la zona de América Latina y el Caribe se genera aproximadamente un 16 % de las emisiones globales de mercurio a la atmósfera, y se consume un 10 % de los productos con el metal; esto a pesar de que solamente habita un 9 % de la población mundial, aproximadamente (UNEP, 2013).

El mercurio se obtiene fácilmente del cinabrio al calentarse en aire, desprendiéndose vapor de mercurio, que inmediatamente es condensado para obtener mercurio líquido. La reacción química es la siguiente:



Este elemento químico es usado en muchos productos y procesos, por ejemplo: se emplea como catalizador en reacciones orgánicas, para recubrir espejos; en lámparas para generar rayos UV o lámparas fluorescentes; en instrumentos como termómetros, barómetros y manómetros, hidrómetros y picnómetros; en la extracción de oro y plata de sus minerales; en la generación de amalgamas dentales; en relés y conmutadores eléctricos; en la determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl; como reactivo de Millon; como cátodo en electrólisis y electroanálisis; en pilas y manufactura de sales mercuriales; en productos farmacéuticos, agroquímicos y pinturas, entre otros ejemplos (EPA, 2009).

El mercurio se encuentra en la biosfera terrestre en distintas formas: elemental, inorgánico (como cloruro de mercurio, por ejemplo) y orgánico (como metilmercurio y etilmercurio, por ejemplo); todos causan efectos tóxicos en los sistemas nervioso, digestivo e inmunológico y en los pulmones, los riñones, la piel, los ojos, entre otros. La exposición de los seres humanos se produce principalmente a través de la inhalación de los vapores de mercurio elemental liberados durante los procesos industriales, o mediante el consumo de pescado y mariscos contaminados. La OMS cataloga al mercurio y los compuestos mercuriales como uno de los diez grupos de productos químicos con mayores repercusiones en la salud pública (OMS, 2016), por lo cual, hacer inventarios en estos grupos de productos químicos tiene una gran repercusión en la salud pública.

Los inventarios de emisiones son una herramienta utilizada por la gestión de calidad de aire sumamente importante en actividades de planeación de desarrollo humano y de territorios urbanos y rurales. En estudios de calidad de aire se definen diferentes tipos de inventarios: compuestos tóxico-peligrosos, contaminantes criterios, solventes y gases de efecto invernadero.



Elaborar un tipo de inventario no exime a la región o país de la necesidad de elaborar los otros tres (UN Environment, 2013).

Las estimaciones en cuanto a liberaciones de mercurio al ambiente siguen una metodología estructurada, pero de manera general se realizan basadas en ciertos supuestos y generalizaciones, de forma que sea posible completar la información. Es importante que estas suposiciones estén bien justificadas, de manera que tengan validez y no le resten credibilidad al estudio que se entrega. Si bien la información es obtenida de fuentes primarias, como las bases de datos de las instituciones de gobierno o directamente con las industrias involucradas en la posible emisión, siempre puede tener un grado de incertidumbre asociado por motivos varios. Así también, cuando se debe estimar algún dato de producción o factor, se hace de manera que se asemeje el dato final lo más posible a la realidad que se busca reportar, pero las estimaciones por más bien fundamentadas igualmente contribuyen a la incertidumbre de los datos y, por ende, de los inventarios.

En cuanto a niveles de factores de emisión para inventarios, se pueden generar inventarios de nivel N1 o de nivel N2. Los primeros se construyen con factores de emisión de aplicación global aceptados por la comunidad científica y encontrados en fuentes como puede ser el Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), la United States Environmental Protection Agency (US-EPA), por ejemplo. Con estos, los usuarios pueden hacer una estimación inicial de las emisiones del contaminante que se esté analizando, para crearse un panorama en cuanto a la emisión en la zona definida, pero siempre tomando en cuenta las condiciones y limitaciones en las que se determinaron los factores elegidos, porque así la emisión calculada queda definida por ellos (UN Environment, 2017a). En Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional también ha desarrollado factores de emisión, pero esos no son de aplicación global por su alcance.

Los inventarios N2 parten de la búsqueda del interesado por producir información más específica a su actividad o región. Se pueden generar algunos factores de emisión propios o utilizar información más cercana a la zona o región estudiada, valiéndose de factores de emisión locales, con respaldo de una investigación científica. Esto permitirá reducir la incertidumbre respecto al inventario, al construirse a partir de datos que representan mejor la realidad del área que se analiza. Ahora bien, por esta razón estos inventarios también requieren un esfuerzo mayor de parte del usuario, sea generando factores de emisión a partir de mediciones de contaminantes directamente de su fuente o con otra técnica de estimación de emisiones; o bien haciendo una búsqueda más exhaustiva de información local o más cercana a su realidad (UN Environment, 2017b).

En el desarrollo del presente artículo, se utilizó la herramienta propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para generar el primer inventario de mercurio en el nivel N2 de Costa Rica, tomando como año base el 2014 (UNEP, 2015), buscando conocer las actividades en la materia de contaminación con mercurio presentes en el país y la cantidad de emisiones asociadas a las matrices de aire, agua, suelo, productos y residuos de cada una. También, se desea conocer la cantidad total de emisión en el nivel nacional y la proporción en la que esta es emitida en cada una de las cinco matrices mencionadas.



## 2. Metodología

La metodología para desarrollar el inventario de emisiones de mercurio en Costa Rica para el 2014 se basó en el uso de una herramienta definida en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, creada por el PNUMA, con la cual se puede estimar las emisiones de mercurio en un país. Esta herramienta permite tanto la elaboración de inventarios en el nivel N1 como en el N2, la versión utilizada para el desarrollo del cálculo fue la de idioma inglés de noviembre de 2015 (UNEP, 2015).

La herramienta de nivel N1 es una hoja de cálculo en la que únicamente se pueden ingresar datos de actividad, sin posibilidad de cambiar ninguna metodología de cálculo ni ningún factor de emisión propuesto. La herramienta de nivel N2, en cambio, sí permite modificar la metodología en el cálculo y los factores de emisión. Por ejemplo, en esta última es posible no utilizar un factor poblacional propuesto en el N1 y proponer una alternativa para el cálculo de la emisión de un sector. De igual manera, se puede sugerir nuevos factores de emisión basados en otras investigaciones distintas a las planteadas por el PNUMA en su documento guía para el uso de la herramienta, o algún otro factor propuesto por el mismo programa en la misma guía. La herramienta utilizada para generar el inventario fue la de nivel N2.

El PNUMA define en el Toolkit de nivel N2 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 ejecutadas 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). La proporción con que la emisión y liberación se distribuyen entre estas, según cada actividad, es también definida en el Toolkit.

### 2.1 Fuentes de información

Las actividades sugeridas por el Toolkit del PNUMA fueron divididas entre las presentes y ausentes en el país, de las cuales se analizaron únicamente las primeras, así como también se detalló la fuente de información utilizada para los factores de emisión y los datos de actividad de estas. En la mayoría de los casos se utilizaron los factores de emisión propuestos por el Toolkit, excepto en los casos que se indica. En el Anexo 1 se detalló las actividades que no están presentes en el país.

#### 2.1.1 Extracción, uso de combustibles y fuentes energéticas

##### 2.1.1.1 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) (A. Molina, comunicación personal, 26 de setiembre, 2016a; A. Molina, comunicación personal, 26 de setiembre, 2016b). Se utilizaron, además, los factores de emisión propuestos en el Inventario de Liberaciones de México de 2004 (Maíz, 2008), ya que estos surgieron del análisis de carbón





de dicho país a inicios del 2000 ([Mugica et al., 2003](#)); de igual manera se utilizaron los datos del Inventario Preliminar de Emisiones Atmosféricas de Mercurio en México, de 2001, dado que los factores del Toolkit se determinaron con mediciones de carbón europeo, estadounidense y asiático de la década de los 80 y 90.

#### **2.1.1.2 Extracción, refinamiento y uso de derivados del petróleo de origen mineral**

La suma de derivados del petróleo quemados se consiguió del Balance Energético Nacional de 2014, preparado por la DSE del MINAE ([A. Molina, comunicación personal, 26 de setiembre, 2016a](#); [A. Molina, comunicación personal, 26 de setiembre, 2016b](#); RECOPE, 2015).

#### **2.1.1.3 Biomasa quemada para producción de energía y calor**

El total de las distintas biomásas quemadas para la producción energética fue comunicado por la DSE del MINAE, en el Balance Energético Nacional de 2014 ([A. Molina, comunicación personal, 26 de setiembre, 2016a](#); [A. Molina, comunicación personal, 26 de setiembre, 2016b](#)). Se utilizaron los datos del Inventario de Liberaciones de México de 2004 ([Maíz, 2008](#)), 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.

#### **2.1.1.4 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 ([A. Molina, comunicación personal, 26 de setiembre, 2016a](#)). Se usaron los factores de emisión propuestos en el Inventario de Liberaciones de México de 2004 ([Maíz, 2008](#)), ya que los sugeridos en el Toolkit se establecieron con mediciones que no fueron validadas en 1977, por lo que el mismo Toolkit sugiere usar esos datos con precaución.

### **2.1.2 Producción primaria de metales**

#### **2.1.2.1 Extracción de oro y plata por métodos de amalgamación con mercurio**

La masa de oro producido se consiguió del Departamento de Control Minero de la Dirección de Geología y Minas del MINAE, mientras que el mismo departamento confirmó que no se utiliza mercurio para la extracción de plata en el país ([M. Gómez, comunicación personal, 6 de junio, 2016](#)). Respecto al factor de emisión por utilizar, en la investigación de [Murillo \(2016\)](#) se generó uno para la actividad practicada en la zona de Abangares, Guanacaste de 3,8 g Hg/g oro (el Toolkit sugiere un factor de 3 g Hg/g oro); sitio donde se realiza la minería de oro artesanal con amalgamación con mercurio. Este, además, puede ser tomado en cuenta como el factor nacional, debido a que solamente se da la minería con uso de mercurio de esa manera en dicha zona estudiada del país.



### **2.1.2.2 Extracción de oro y procesamiento inicial por métodos distintos a la amalgamación con mercurio**

La masa de oro obtenido se consultó al Departamento de Control Minero de la Dirección de Geología y Minas del MINAE (M. Gómez, comunicación personal, 6 de junio, 2016).

### **2.1.3 Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio**

#### **2.1.3.1 Producción de cemento**

El dato de la masa de cemento producido en el país se pidió a la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA), del MINAE (J. P. Sibaja, comunicación personal, 15 de junio, 2016a). Para los factores de emisión del Toolkit se utilizaron medidas semestrales de gases de chimenea de las cementeras costarricenses, entre enero de 2013 y enero de 2016 (J. C. Bolaños, comunicación personal, 11 de julio, 2016), para así estimar un factor de emisión que describiera la actividad en el nivel nacional, y esto permitió ajustar a la realidad del país las emisiones asociadas con esta actividad, respecto a si se empleaba el factor sugerido por el Toolkit.

### **2.1.4 Productos de consumo con uso intencional de mercurio**

#### **2.1.4.1 Termómetros con mercurio**

Se contabilizó la cantidad de termómetros importados al país, según la Dirección General de Aduanas (DGA) del Ministerio de Hacienda (M. Solano, comunicación personal, 17 de febrero, 2016), esto además de los despachados a las diferentes áreas de salud de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), de acuerdo con su almacén central, durante el 2014, y los acumulados en este (J. González, comunicación personal, 15 de abril, 2016a).

#### **2.1.4.2 Conmutadores (*switches*) eléctricos y relés (*relays*) con mercurio**

Se tomó la población del país de 2014, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (INEC, 2011a), así como el porcentaje de cobertura eléctrica para el 2014, según el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) (ICE, 2015).

#### **2.1.4.3 Fuentes de luz con mercurio**

Se cuantificaron los fluorescentes importados al país, según la DGA del Ministerio de Hacienda (M. Solano, comunicación personal, 17 de febrero, 2016), además de los gestionados y reciclados adecuadamente durante el 2014 en las empresas autorizadas (A. Arce, comunicación personal, 23 de setiembre, 2015; R. Campos, comunicación personal, 17 de abril, 2016; A. Villalobos, comunicación personal, s. f., 2016a; Y. González, comunicación personal, 26 de febrero, 2016; P. Quirós, comunicación personal, 21 de octubre, 2015; J. C. Salas, comunicación personal, 14 de octubre, 2015).





#### **2.1.4.4 Baterías con mercurio**

Se registraron las baterías importadas al país, según la DGA del Ministerio de Hacienda (M. Solano, comunicación personal, 17 de febrero, 2016), además de las gestionadas, recolectadas y recicladas adecuadamente durante el 2014 en las empresas autorizadas (A. Arce, comunicación personal, 12 de julio, 2016; A. Villalobos, comunicación personal, s. f., 2016b), dado que las producidas en Costa Rica no contienen mercurio (J. Valverde, comunicación personal, s. f., 2016).

#### **2.1.4.5 Poliuretano con catálisis de mercurio**

Se utilizó la población del país de 2014, según el INEC (INEC, 2011a), así como el porcentaje de cobertura eléctrica para el 2014, según el ICE (ICE, 2015).

### **2.1.5 Otros usos intencionales en productos o procesos**

#### **2.1.5.1 Amalgamas dentales con mercurio**

Se contó la cantidad de amalgamas importadas al país, según la DGA del Ministerio de Hacienda (M. Solano, comunicación personal, 17 de febrero, 2016), además de las enviadas a las diferentes áreas de salud de la CCSS, acorde con su almacén central, durante el 2014, y las contenidas en este (J. González, comunicación personal, 18 de abril, 2016b).

#### **2.1.5.2 Manómetros e indicadores con mercurio**

Se contabilizaron los esfigmomanómetros importados al país, según la DGA del Ministerio de Hacienda (M. Solano, comunicación personal, 17 de febrero, 2016). Se utilizó la población del país de 2014, de acuerdo con el INEC (INEC, 2011a), así como el porcentaje de cobertura eléctrica para el 2014, según el ICE (ICE, 2015).

#### **2.1.5.3 Sustancias químicas de laboratorio y equipo con mercurio**

Se anotó las sustancias químicas de laboratorio importadas al país, según la DGA del Ministerio de Hacienda (M. Solano, comunicación personal, 17 de febrero, 2016), así como lo reportado por las universidades correspondientes (A. Alfaro, comunicación personal, 12 de enero, 2016; J. Esquivel, comunicación personal, s. f., 2016; B. Fernández, comunicación personal, 20 de enero, 2016; D. Mesén, comunicación personal, s. f., 2016; M. Ramos, comunicación personal, 12 de febrero, 2016; L. Rodríguez, comunicación personal, 19 de abril, 2016; W. Umaña, comunicación personal, s. f., 2016).



## **2.1.6 Incineración de residuos sólidos**

### **2.1.6.1 Quema informal de residuos sólidos**

Se consideró un informe de auditoría de la Contraloría General de la República (CGR) sobre residuos sólidos: generación, recolección y disposición (CGR, 2016). Con estos datos, se realizó una estimación utilizando la Encuesta Nacional de Hogares generada por el INEC (INEC, 2014), 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.

## **2.1.7 Deposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales**

### **2.1.7.1 Deposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios**

Se consiguió la información sobre residuos sólidos, directamente de un informe de auditoría de la CGR: generación, recolección y disposición (CGR, 2016).

### **2.1.7.2 Deposición informal de residuos sólidos ordinarios**

Utilizando el mismo informe de la CGR sobre residuos sólidos: generación, recolección y disposición (CGR, 2016), y con ayuda de datos de la Encuesta Nacional de Hogares del INEC respecto a las vías alternativas en que los costarricenses (INEC, 2014), en caso de no recibir el servicio de recolección, disponen los residuos sólidos, fue posible hacer una estimación (INEC, 2011b).

### **2.1.7.3 Sistemas de tratamiento de aguas residuales**

Se utilizó una base de datos generada por la Dirección de Protección al Ambiente Humano, DPAH del Ministerio de Salud (A. Villalobos, comunicación personal, s. f., 2016c).

## **2.1.8 Crematorios y cementerios**

### **2.1.8.1 Crematorios**

La cantidad de personas cremadas se solicitó a DIGECA (J. P. Sibaja, comunicación personal, 15 de junio, 2016b).

### **2.1.8.2 Cementerios**

Se obtuvo de la resta entre la cantidad de personas fallecidas durante el 2014, de acuerdo con el INEC (INEC, 2011a), y la cantidad de cremaciones (J. P. Sibaja, comunicación personal, 15 de junio, 2016b).



## 2.2 Incertidumbre

Para el cálculo de la incertidumbre se siguió la metodología expuesta en el inventario de emisiones de México de 2004 (Maíz, 2008), que consiste en la propagación de errores con el propósito de combinar la dispersión planteada para cada factor de entrada, distribución o emisión, y la de los datos de actividad. Se utilizó la distribución normal logarítmica para establecer la 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 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en el 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. Para ello se consideran errores en la estimación de la actividad, así como errores en el factor de entrada, distribución o emisión, y se asigna una probabilidad de ocurrencia normal a dichos errores. De manera análoga, el límite inferior del intervalo indica la emisión mínima esperada de la fuente.

Siguiendo la metodología expuesta en el inventario de emisiones de México, 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).

Para el Toolkit 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 2:

$$F_{MAP} = e^{\left[ \ln(F_{MIN}) + \frac{\ln(F_{MAX}) - \ln(F_{MIN})}{2} \right]} \quad (2)$$

Donde:

$F_{MAP}$  (=) 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 estas, 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 la verdadera vía de liberación que toma el mercurio para escapar 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 el superior del intervalo de incertidumbre fueron calculados con las **Ecuaciones 3 y 4**:

$$L_{INF} = e^{\left[ \ln(A_{MAP} \times F_{MAP}) - \frac{\ln(A_{MAX} \times F_{MAX}) - \ln(A_{MIN} \times F_{MIN})}{\sqrt{12}} \right]} \quad (3)$$

$$L_{SUP} = e^{\left[ \ln(A_{MAP} \times F_{MAP}) + \frac{\ln(A_{MAX} \times F_{MAX}) - \ln(A_{MIN} \times F_{MIN})}{\sqrt{12}} \right]} \quad (4)$$

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
- $F_{MAP}$  (=) Factor de entrada, distribución y/o emisión mejor aproximado
- $F_{MIN}$  (=) Factor de entrada, distribución o emisión mínimo
- $F_{MAX}$  (=) Factor de entrada, distribución o emisión máximo

### 3. Resultados y discusión

Los resultados generados al realizar el inventario de nivel N2, usando el Toolkit correspondiente, se muestran en el **Cuadro 1**. Es posible observar que la emisión total para el 2014 en Costa Rica, según este inventario, fue cuantificada como 5 052 kg de mercurio. La herramienta presenta algunas aclaraciones sobre la determinación de las emisiones totales, de modo que hace correcciones para evitar doble conteo. 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 solamente se emite en su totalidad al ambiente si la suma de los porcentajes de distribución entre las matrices es de un 100 %. 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.



**Cuadro 1.** 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, kg Hg/año	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
<b>Extracción y uso de combustibles / fuentes energéticas</b>							
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
<b>Producción primaria de metales</b>							
Extracción de oro (y plata) con procesos de amalgamación de mercurio	2 660	532,0	1 064	1 064	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



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	Residuos en general	Tratamiento de residuos de sectores específicos/ disposición
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
Conmutadores y relés 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
Otros productos y procesos con uso intencional de mercurio							
Amalgama dental para rellenos	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							
Quema informal de residuos	968,12	968,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00





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	Residuos en general	Tratamiento de residuos de sectores específicos/ disposición
<b>Deposición de residuos/ relleno sanitario y tratamiento de aguas residuales</b>							
Rellenos sanitarios controlados/ depósitos	30,32	30,02	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Vertederos informales de residuos generales	459,24	45,92	45,92	367,39	-	-	-
Sistemas de aguas residuales/ tratamiento	5,35	0,00	4,81	0,00	0,00	0,53	0,00
<b>Crematorios y cementerios</b>							
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
<b>Total de liberaciones cuantificadas</b>	<b>5 052*</b>	<b>1 756</b>	<b>1 685**</b>	<b>1 231***</b>	<b>69,50</b>	<b>1 030</b>	<b>220,10</b>

\*Según el Toolkit, en la emisión total del inventario se resta un 90 % de la emisión reportada por los apartados de rellenos sanitarios controlados/depósitos, quema informal de residuos y vertederos informales de residuos generales para evitar doble contabilidad.

\*\*Según el Toolkit, en la emisión total al agua se resta la contribución del apartado de sistemas de aguas residuales y su tratamiento para evitar doble contabilidad.

\*\*\*Según el Toolkit, en la emisión total al suelo se resta la contribución del apartado de vertederos informales de residuos generales para evitar doble contabilidad.

En la **Figura 1a** es posible observar los sectores más importantes en cuanto a 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 41,80 % del total. Esta actividad junto con la quema informal de residuos, el uso de amalgamas mercuriales, la disposición informal de residuos sólidos, así como conmutadores y relés eléctricos con mercurio son responsables de casi el 80 % del total del país, de modo que la emisión de mercurio en Costa Rica está en su amplia mayoría muy polarizada entre estos cinco sectores.

Conocida esta información, es en estas actividades en las que los esfuerzos deben enfocarse, de manera que se conozca con menor incertidumbre su emisión, así como el desarrollo de estrategias de reducción de emisiones. En el caso de la minería de oro artesanal, como antes de



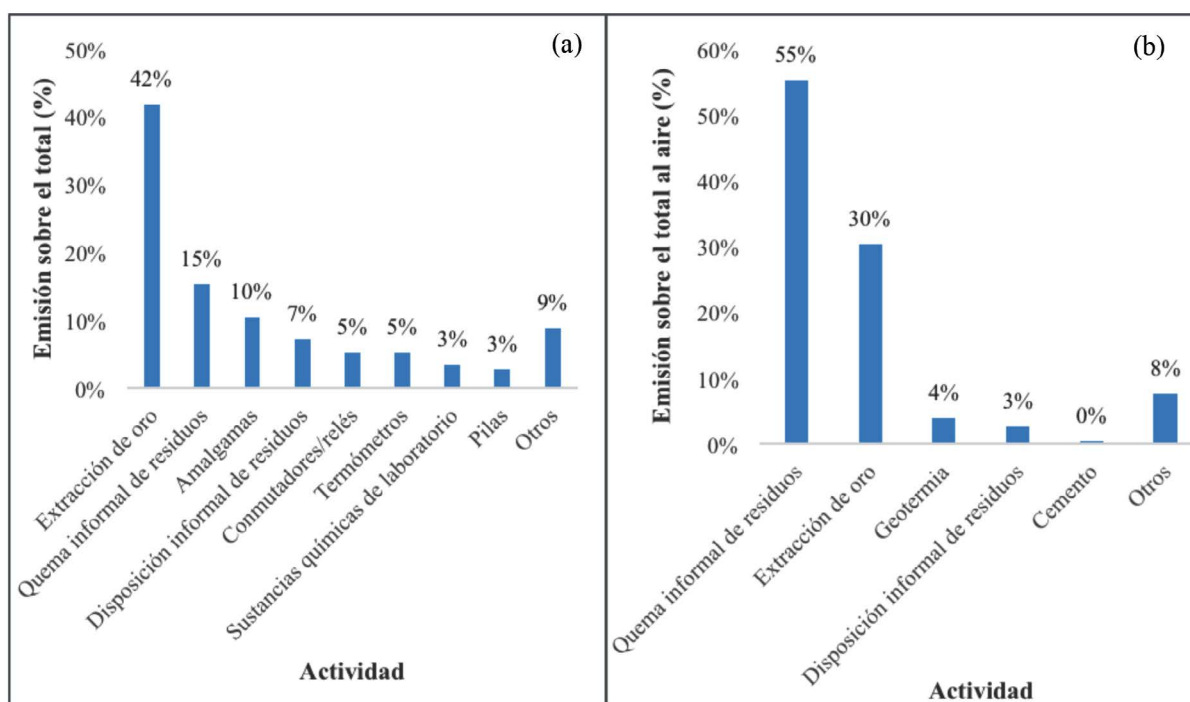
iniciar el estudio había sido señalada por expertos en la materia en el nivel nacional como un área de gran emisión de mercurio, se hizo todo un análisis del proceso de extracción de oro con la técnica que usa mercurio desarrollada en el cantón de Abangares, Guanacaste; de modo que se estimó un factor de emisión para la cantidad de mercurio desde las distintas matrices por el desarrollo de esta actividad en Costa Rica, de  $(3,8 \pm 0,2) \text{ g Hg (g oro)}^{-1}$ . Esto se explica con más detalle en la investigación de [Murillo \(2016\)](#).

El análisis relativo a la actividad de uso de amalgamas dentales se profundizó al buscar reducir la desviación en el dato de la cantidad de productos aplicados en los pacientes en el año de estudio. De esta manera, se estudió las importaciones reportadas por la DGA del Ministerio de Hacienda, de modo que se captaran las amalgamas aplicadas tanto en el nivel estatal como en el privado, esto motivado porque en el primero se contaba con ciertas estadísticas de aplicación anual en pacientes, mientras que en el segundo esta información es desconocida. La propuesta del Toolkit, en caso de no tener los recursos o el tiempo necesario para desarrollar este esfuerzo, es hacer una estimación nacional a partir de la población y de un factor definido por la misma herramienta, que relaciona la cantidad de odontólogos en la región de estudio con su población.

Los residuos sólidos que no son dispuestos adecuadamente en los rellenos sanitarios son responsables de más del 22 % 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.

El nivel N2 agrupa los productos con mercurio añadido en una única categoría para su análisis, incluyendo los siguientes sectores: uso de termómetros clínicos y de laboratorio, uso de conmutadores y relés 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. Esta categoría es responsable de casi el 33 % 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 55 % del total.

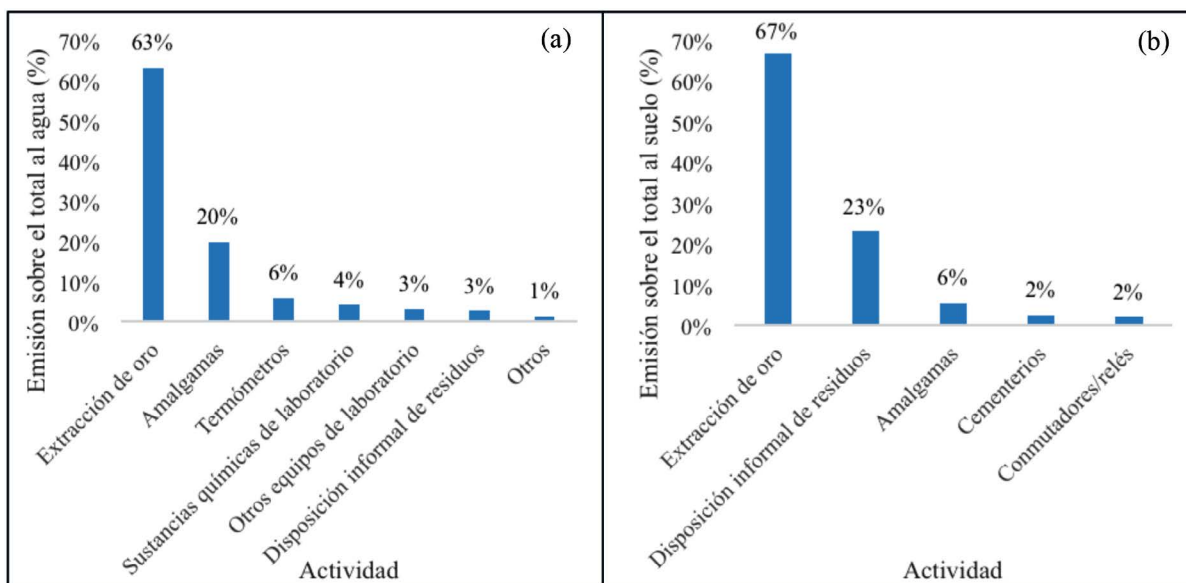
En la **Figura 1b** se puede observar los sectores más importantes en cuanto a las emisiones al aire. La quema informal de residuos sólidos es la gran responsable de las emisiones en esta matriz, pues representa casi más del 55 % de contaminación al aire e inclusive, si se toma en cuenta la disposición informal de residuos, el porcentaje de importancia asciende a casi el 58 % del impacto total. El segundo sector es la extracción de oro con el uso de mercurio para amalgamar, con más del 30 %. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba casi el 5 % del impacto a la matriz.



**Figura 1.** Proporción de la emisión total de cada actividad, según el inventario N2 generado (a). Proporción de la emisión al aire de cada actividad, según el inventario N2 generado (b).

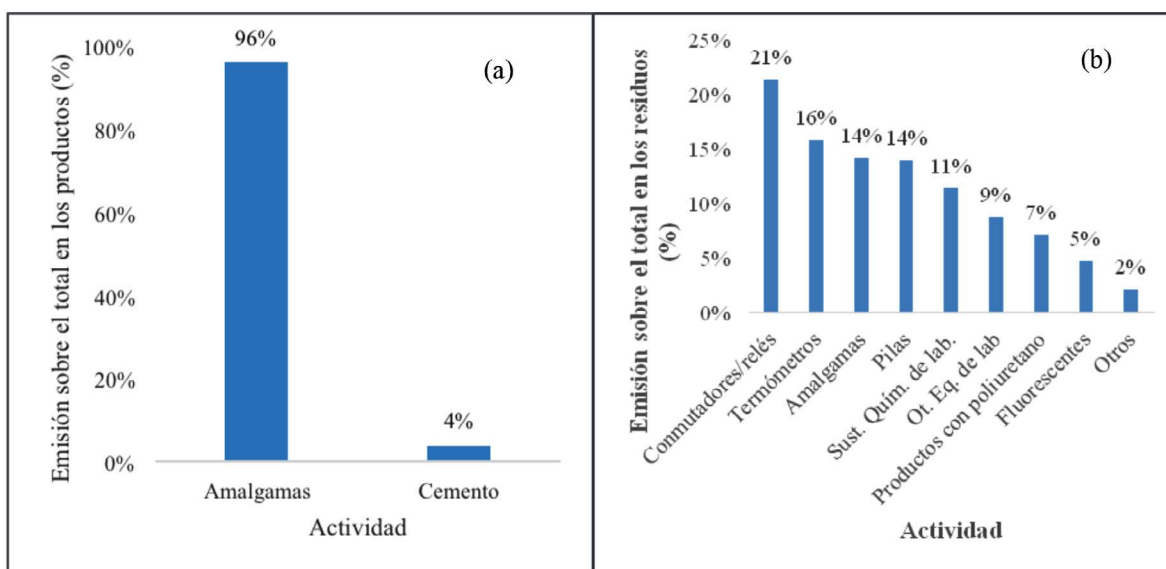
En la **Figura 2a** se puede observar los sectores más importantes en cuanto las liberaciones al agua. La extracción de oro de manera artesanal con el uso de mercurio para amalgamar es la actividad de mayor impacto al agua, con casi el 63 % del total. La utilización de amalgamas dentales con mercurio se coloca en la segunda posición, con casi un 20 % de la totalidad de mercurio que es liberado a la matriz. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba más del 34 % del impacto, en vista de que las amalgamas y los termómetros son responsables de casi el 26 % del mercurio que se dirige al agua.

En la **Figura 2b** 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 66 % de las liberaciones totales a la matriz. El segundo lugar es para la disposición informal de residuos sólidos, con casi un 23 %. El grupo de productos con mercurio definido por el Toolkit engloba un 7,66 % del impacto al suelo.



**Figura 2.** Proporción de la emisión al agua de cada actividad, según el inventario N2 generado (a). Proporción de la emisión al suelo de cada actividad, según el inventario N2 generado (b).

En la **Figura 3a** se puede observar los sectores que considera el Toolkit en cuanto a 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.

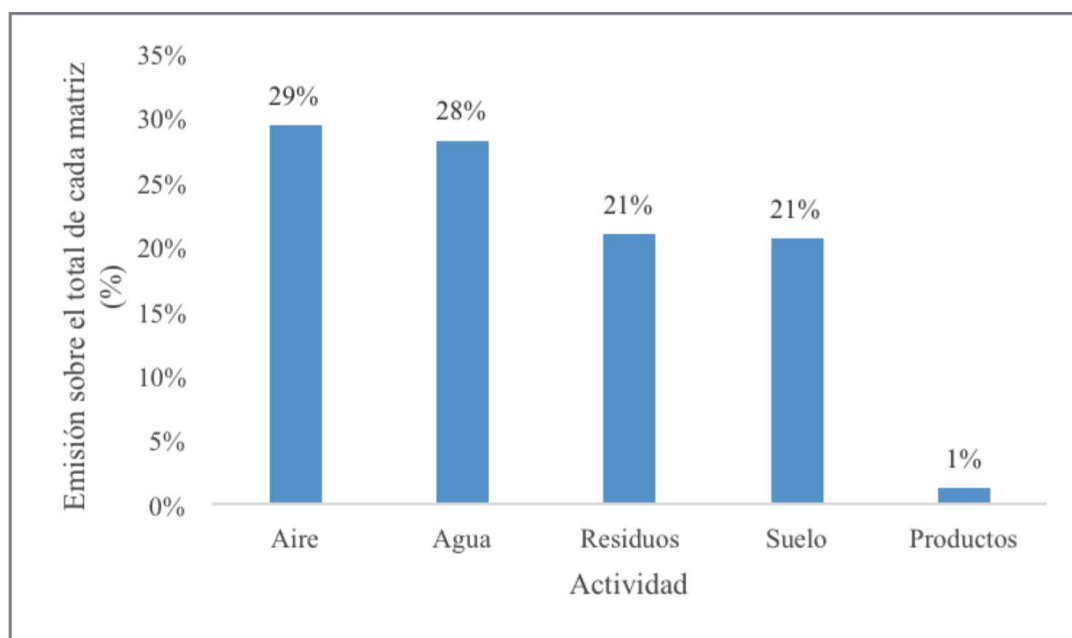


**Figura 3.** Proporción de la emisión en los productos de cada actividad, según el inventario N2 generado (a). Proporción de la emisión en los residuos de cada actividad, según el inventario N2 generado (b).



En la **Figura 3b** se puede observar los sectores más importantes en cuanto a las emisiones en los residuos. El primer lugar corresponde al uso de conmutadores y relés 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.

En la **Figura 4** se puede observar la distribución de las emisiones de acuerdo con la matriz. La matriz más impactada es la del aire, con casi el 28 % 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 1,09 % del impacto total.



**Figura 4.** Proporción de las emisiones de mercurio por matriz

En el **Cuadro 2** se encuentra el cálculo de la incertidumbre para el inventario. Es posible observar cómo para cada actividad, en cada uno de los inventarios, se reporta la emisión total de mercurio y los límites inferior y superior entre los cuales oscila este valor.

En caso del inventario N2, el rango de incertidumbre es de 7 850,69 kg Hg, la emisión reportada es mayor que el límite inferior de la incertidumbre en 2 377,43 kg Hg; y es menor que el límite superior de la incertidumbre en 5 473,26 kg Hg.



**Cuadro 2.** Comparación entre la emisión total y los límites de incertidumbre de cada sector considerado en el inventario de nivel N2

Categoría de fuente	Entrada estimada de Hg (kg Hg)	Incertidumbre	
		L inf (kg Hg)	L sup (kg Hg)
<b>Extracción y uso de combustibles/fuentes energéticas</b>			
Otros usos del carbón	0,85	0,37	1,97
Derivados del petróleo - extracción, refinamiento y uso	9,44	4,58	19,43
Plantas de quema de biomasa y producción de calor	6,34	1,40	28,66
Producción de energía geotérmica	69,22	8,44	567,87
<b>Producción primaria de metales</b>			
Extracción de oro (y plata) con procesos de amalgamación de mercurio	2 660,00	1 144,45	6 182,52
Extracción de oro y procesamiento inicial por métodos que no sean la amalgamación de Hg	5,25	1,64	16,76
<b>Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio</b>			
Producción de cemento	13,26	2,34	75,25
<b>Producción de productos con contenido de mercurio</b>			
Termómetros con mercurio	339,13	206,83	556,09
Conmutadores y relés eléctricos con mercurio	335,15	160,49	699,87
Fuentes de luz con mercurio	62,80	28,82	136,87
Baterías con mercurio	175,72	107,02	288,51
Uso de productos con poliuretano	105,98	66,12	169,88
<b>Otros productos y procesos con uso intencional de mercurio</b>			
Amalgama dental para rellenos	666,44	528,80	839,90
Manómetros y medidores de mercurio	31,76	28,55	35,52
Sustancias químicas de laboratorio y equipo con mercurio	378,20	292,60	490,47
<b>Incineración de residuos</b>			
Quema informal de residuos	968,12	416,53	2 250,16
<b>Deposición de residuos/relleno sanitario y tratamiento de aguas residuales</b>			
Rellenos sanitarios controlados/depósitos	30,32	14,72	62,46
Vertederos informales de residuos generales	459,24	197,58	1 067,38
Sistemas de aguas residuales/tratamiento	5,35	1,88	15,18
<b>Crematorios y cementerios</b>			
Crematorios	1,81	1,14	2,86
Cementerios	39,68	26,33	59,81
<b>Total</b>	<b>5 052*</b>	<b>2 675*</b>	<b>10 525*</b>

\*Según como se indicó en el **Cuadro 1**, en la emisión total del inventario se resta un 90 % de la emisión reportada por los apartados de rellenos sanitarios controlados/depositos, quema informal de residuos y vertederos informales de residuos generales para evitar doble contabilidad. Se hizo lo mismo para los límites totales de incertidumbre.





#### 4. Conclusiones

La emisión del mercurio para el 2014 en Costa Rica se contabilizó en 5 052 kg en el inventario N2, con un intervalo de incertidumbre entre 2 675 kg y 10 525 kg; y 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, los cuales engloban un 67,48 % de la emisión total del país.

Se implementó ciertos esfuerzos por conseguir la reducción de la incertidumbre en los datos de las actividades de mayor importancia en el inventario, tales como generar un factor de emisión para la actividad más contaminante del país de  $(3,8 \pm 0,2)$  g Hg (g oro)<sup>-1</sup>, como fue, según el inventario, la extracción de oro de manera artesanal con amalgamación con mercurio; además de utilizar estadísticas de importación de amalgamas para considerar la práctica pública y privada, debido a que el planteamiento del Toolkit ante esta falta de información es el uso de factores poblacionales.

Las matrices de aire, agua y suelo, en ese orden, sufrieron mayor impacto en el inventario N2, con un 79,26 % de la emisión total. El sector más importante en emisiones al aire fue la quema informal de residuos (55,13 % de importancia en la matriz). En el caso de las emisiones al agua y al suelo, el sector más importante fue la extracción de oro con amalgamación (62,97 % y 66,58 % de importancia en la matriz, respectivamente). En cuanto a las matrices de productos y residuos, los sectores más preponderantes fueron las amalgamas dentales y el uso de conmutadores y relés eléctricos (95,88 % y 21,44 % de importancia en la matriz, respectivamente).

El primer inventario de nivel N2 permite una visión más clara de la realidad costarricense, de cuáles deben ser las actividades prioritarias para las autoridades correspondientes en materia de reducir las emisiones de estas, así como en qué prácticas, al seguir utilizando factores poblacionales para la estimación de la emisión, se debe hacer esfuerzos adicionales por generar la información de la emisión sin asociarla con factores poblacionales, de modo que se cuantifiquen con una menor incertidumbre.

#### 5. Agradecimientos

Se agradece al personal la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud por toda la asistencia en la solicitud de información a las distintas dependencias públicas y empresas privadas, por todos los datos compartidos, así como por las horas de reuniones invertidas y sugerencias dadas buscando generar un producto final de mejor calidad.

También se agradece al personal de la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental del Ministerio de Ambiente y Energía, por el permiso para participar de las actividades del Comité Consultivo Técnico del Proyecto Actividades Habilitantes para la evaluación inicial de Minamata, por todas las actividades a las que se dio permiso de participar, la información compartida, las sugerencias y las horas de reuniones invertidas para generar un primer inventario de emisiones de mercurio de nivel N2 con alta calidad.



## 6. Referencias

- CGR (Contraloría General de la República). (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. *Reforma al Código de Minería y sus reformas. Ley para declarar a Costa Rica país libre de Minería Metálica a Cielo Abierto*. Ley 8904.
- Costa Rica. *Convenio de Minamata sobre el Mercurio*. Ley 9391.
- Decreto 24 334-S. Diario Oficial *La Gaceta* 114, Costa Rica, 14 de junio de 1995.
- Decreto 27 769-MAG-S. Diario Oficial *La Gaceta* 70, Costa Rica, 13 de abril de 1999.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2009). *Potential Export of Mercury Compounds from the United States for Conversion to Elemental Mercury*. Washington, D. C.: Oficina de Contaminación y Sustancias Tóxicas.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). (2015). *Índice de Cobertura Eléctrica: 2015*. Recuperado de <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/10261169-f251-465d-9b95-0b17c-7baa49e/Cobertura+2013.pdf?MOD=AJPERES&attachment=false&id=1453148700496>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2014). *Encuesta Nacional de Hogares*. San José: INEC. Recuperado de <http://www.inec.go.cr/flipbook/enaho2014/index.html>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2011a). *Indicadores demográficos proyectados por año calendario 2011-2025*. San José: INEC. 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](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)
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2011b). *Costa Rica: Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia y cantón*. San José: INEC. Recuperado de <http://www.inec.go.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (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](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.htm)
- Maíz, P. (2008). *Informe Final - Inventario Nacional de Liberaciones de Mercurio, México 2004*. México D. F.: Dirección de Investigación de Residuos y Sitios Contaminados.
- 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.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2016). *El mercurio y la salud*. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>
- Pulles, T., Kok, H. y Quass, U. (2006). Application of the emission inventory model TEAM: Uncertainties in dioxin emission estimates for central Europe. *Atmospheric Environment*, 40(13), 2321-2332. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.12.015
- RECOPE (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](https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2015/08/Manual_Productos_RECOPE_2015.pdf)
- UNEP (United Nations Environmental Programme). (2013). *Global Mercury Assessment 2013, Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport*. Ginebra, Suiza: Subdivisión de Productos Químicos.
- UN Environment. (2013). *Emission Inventory Manual*. Geneva, Switzerland: UN Environment Chemical Brands.
- UN Environment. (2017a). *Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Sources, Guideline for Inventory Level 1, Version 2.0, January 2017*. Geneva, Switzerland: UN Environment Chemical Brands.
- UN Environment. (2017b). *Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Sources, Reference Report and Guideline for Inventory Level 2, Version 1.4, January 2017*. Geneva, Switzerland: UN Environment Chemical Brands.
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2015). *Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Sources, Reference Report and Guideline for Inventory Level 2, Version 1.3, April 2015*. Ginebra, Suiza: Subdivisión de Productos Químicos.

## 7. Anexo 1

La siguiente lista detalla las actividades potencialmente emisoras de mercurio descritas por los *Toolkit* que no están presentes en Costa Rica.

### 7.1 Extracción y uso de combustibles y fuentes energéticas

- 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 (A. Molina, comunicación personal, 26 de setiembre, 2016a).
- 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 (A. Molina, comunicación personal, 26 de setiembre, 2016a).

## 7.2 Producción primaria de metales

- 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 (M. Gómez, comunicación personal, 6 de junio, 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.

## 7.3 Producción de otros minerales y materiales con impurezas de mercurio

- 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.

## 7.4 Uso intencional de mercurio en procesos industriales

- 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.

## 7.5 Productos de consumo con uso intencional de mercurio

- 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 (MAG) 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-MAG-S, 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 (G. Smith, comunicación personal, 22 de junio, 2016). 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-S, 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.

#### 7.6 Otros usos intencionales en productos o procesos

Mercurio metálico usado en rituales religiosos y medicina artesanal, uso en productos misceláneos: Sí está presente, pero no es cuantificado en el país.

#### 7.7 Producción de metales reciclados

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, y 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*, entonces no hay modo de cuantificarlo (J.P. Sibaja, comunicación personal, 15 de junio, 2016c).

#### 7.8 Incineración de residuos sólidos

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 un autoclave para luego enviarlos a los rellenos sanitarios. No se da su incineración.

#### 7.9 Deposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales

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.