

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

Inventario de Emisiones **TOOLKIT - PNUMA**





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 antropogénicas 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
1. 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 apoyar 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 2014-2015⁵. 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

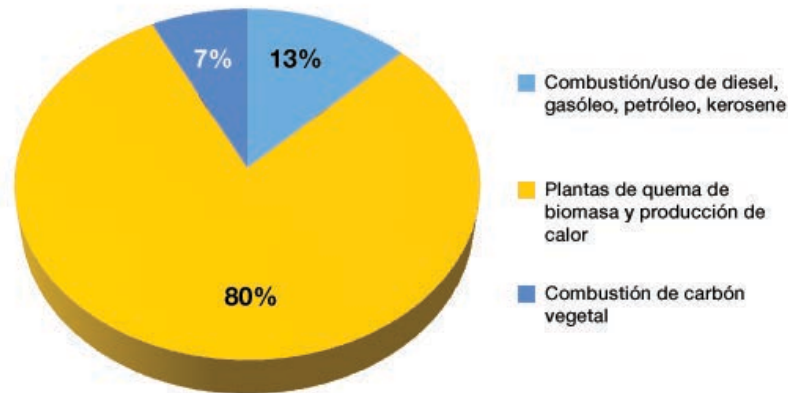


Figura 1. Ingreso de Hg al país por consumo de energía y producción de combustibles

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, kerosene 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					
		Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos de sectores específicos / disposición
CONSUMO DE ENERGÍA	Estimado Estándar						
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					
		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

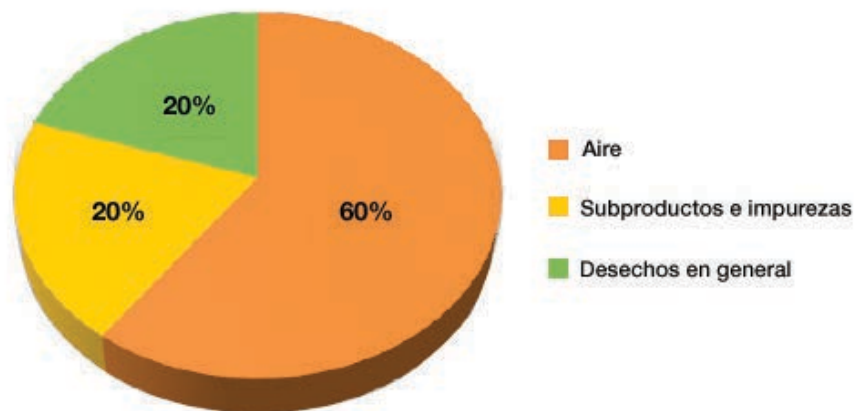


Figura 2. Distribución de las emisiones de mercurio según la producción nacional de metales y materias primas para el 2014

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/>

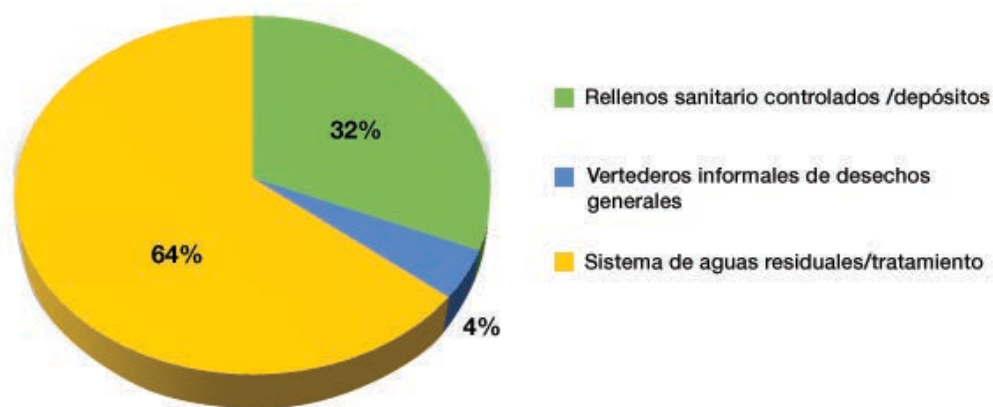


Figura 3. Mercurio ingresado al país en el 2014 por tratamiento de desechos y reciclado.

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 el 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					
		Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos de sectores específicos / disposición
Deposición de desechos/ relleno sanitario y tratamiento de aguas residuales	Estimado Estándar						
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.

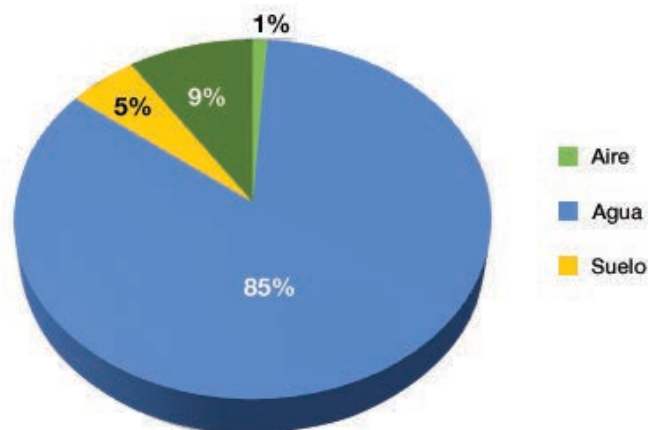


Figura 4. Distribución de las emisiones de Hg como consecuencia del tratamiento de los desechos y reciclado del país durante 2014.

3.6. Paso 6. Consumo general de mercurio en 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:

$$\text{Consumo} = \text{producción} + \text{importación} - \text{exportación}$$

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
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, baterías 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.

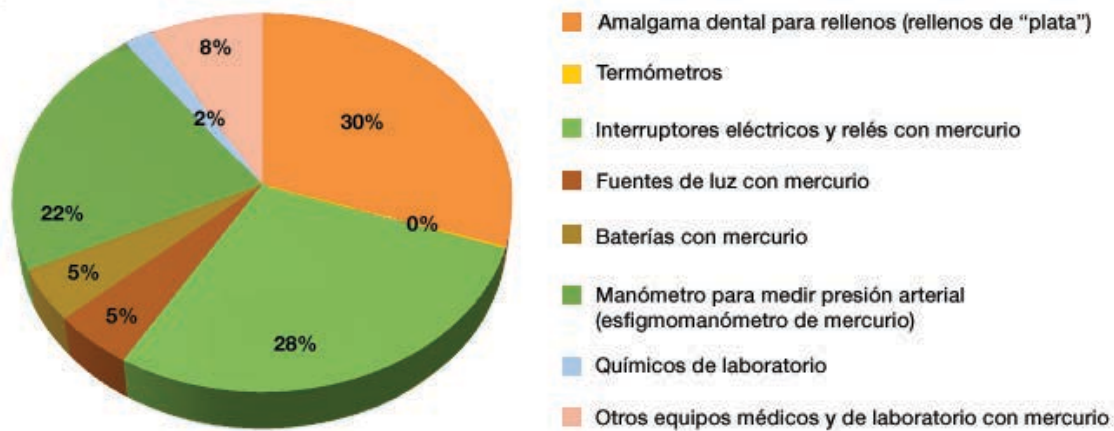


Figura 5. Distribución del mercurio por productos que lo contienen, 2014.

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.

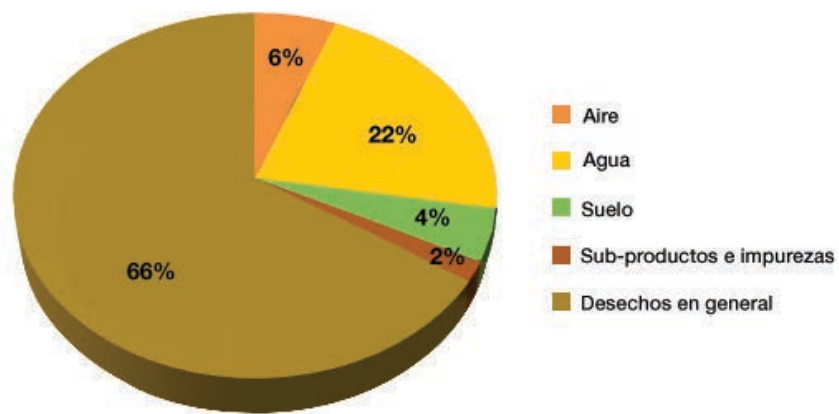


Figura 6. Distribución de las emisiones de Hg por el uso de productos que lo contienen, 2014.

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					
		Aire	Agua	Suelo	Subproductos e impurezas	Desechos en general	Tratamiento de desechos de sectores específicos / disposición
Crematorios y cementerios	Estimado estándar						
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.

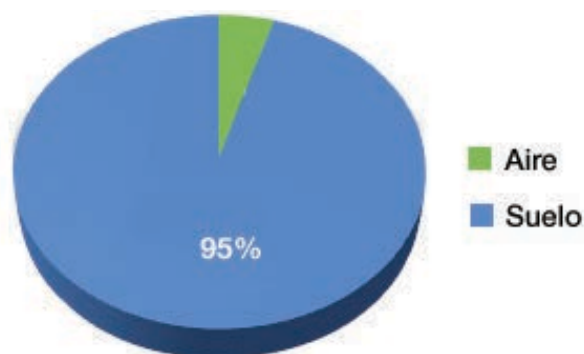


Figura 7. Distribución de las emisiones de Hg de acuerdo con el tratamiento de cuerpos fallecidos en el 2014.

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 antropogénicas 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.

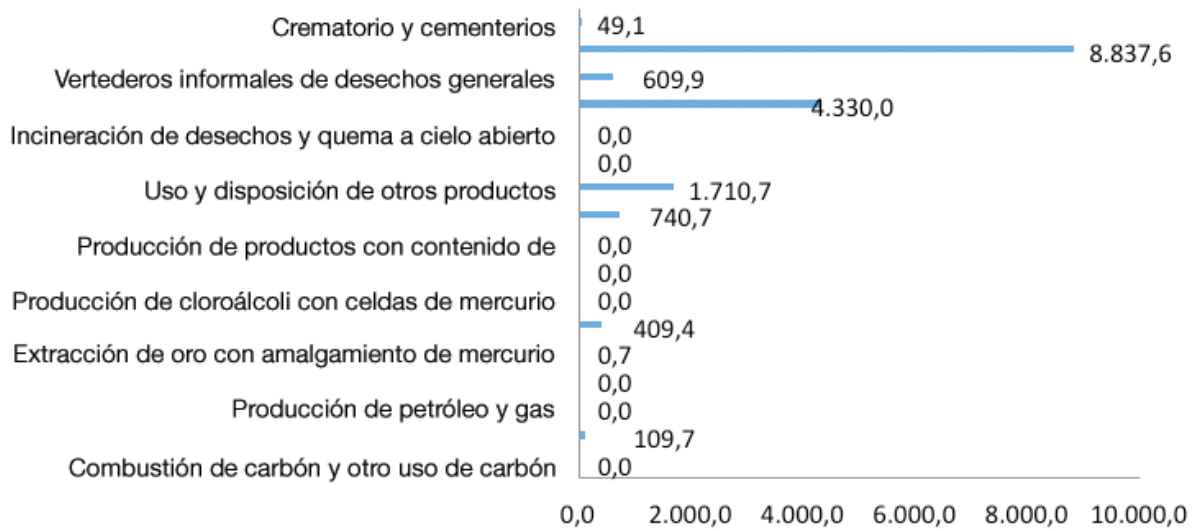


Figura 8. Entrada estimada de Hg en kg durante el 2014 según la fuente.

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.

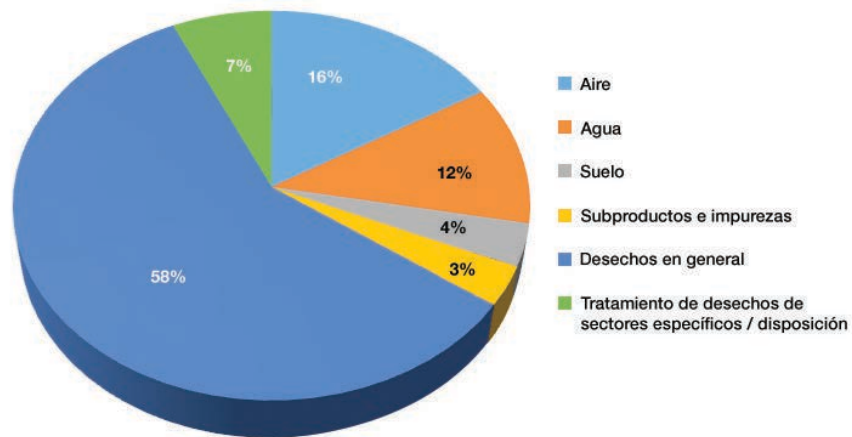


Figura 9. Distribución de las emisiones totales de Hg por fuentes antropogénicas para el 2014 en CR.

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.

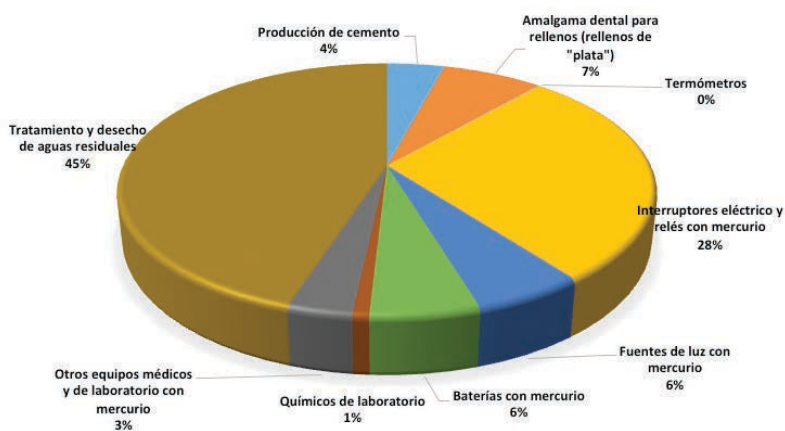


Figura 10. Liberaciones de Hg en los desechos en general en kg anuales para el 2014.

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 medida 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.

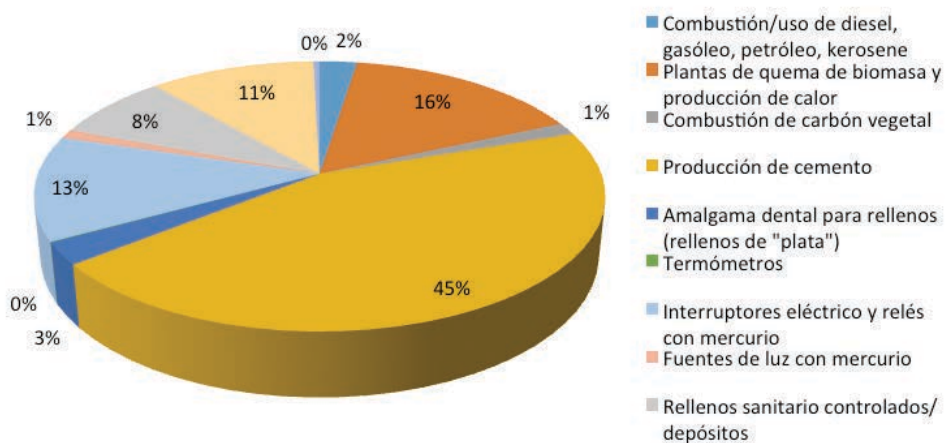


Figura 11. Porcentaje de mercurio emitido al aire según su fuente para el 2014.

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.

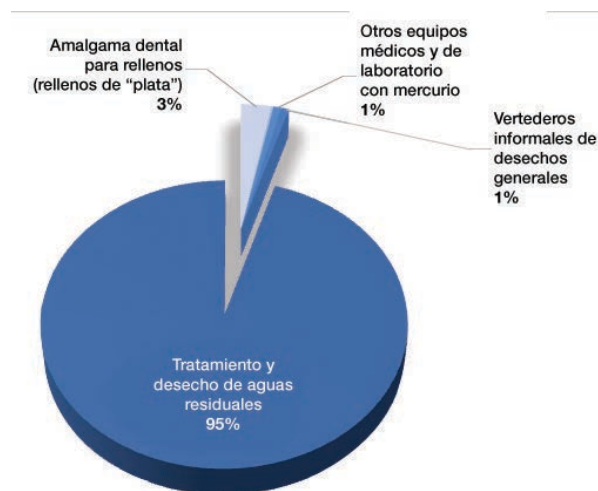


Figura 12. Porcentaje de emisiones al aire según la categoría de la fuente para el 2014.

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.

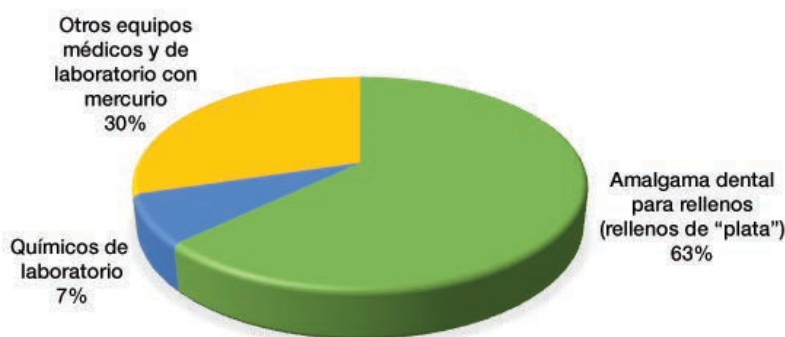


Figura 13. Porcentaje de emisiones de Hg al tratamiento de desechos en sectores específicos o disposición según la fuente para el 2014.

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.

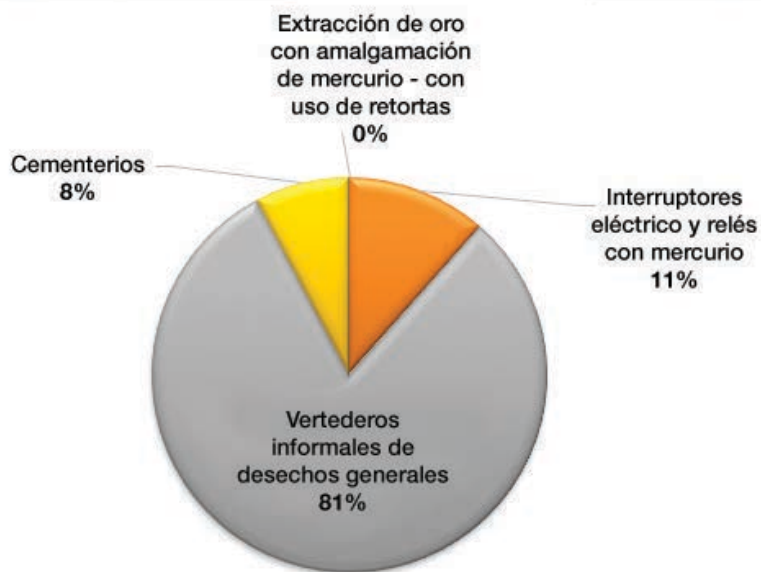


Figura 14. Cantidad de Hg emitida al suelo según su fuente en kg de Hg durante el 2014.

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-lixivios-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.

1. 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 biomásas 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:

$$L_{INF} = e \ln_{AMAP} \times F_{MAP} - \ln A_{MAX} - F_{MAX} - \ln A_{MIN} \times F_{MIN} \quad 12$$

$$L_{SUP} = e \ln_{AMAP} \times F_{MAP} + \ln_{AMAX} \times F_{MAX} - \ln_{AMIN} \times F_{MIN} \quad 12$$

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
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

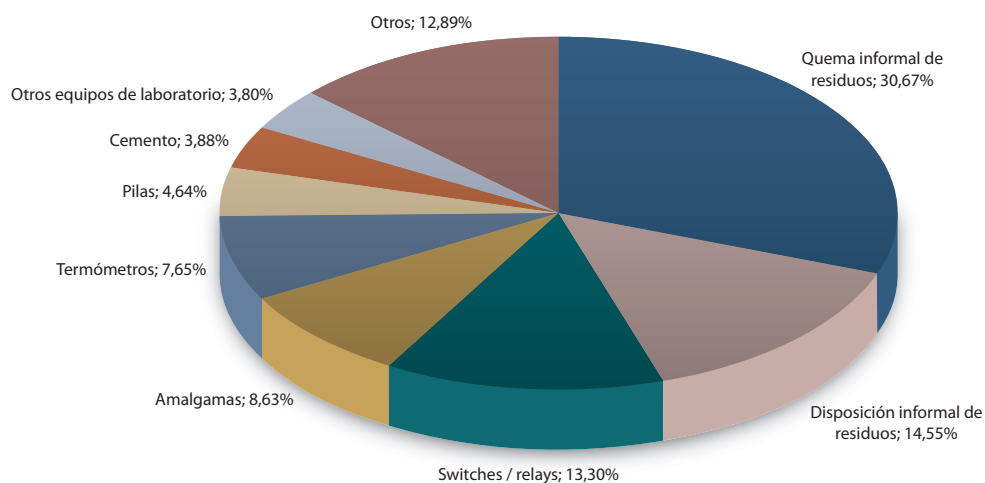


Figura 2.1. Emisión total de mercurio: inventario N1

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.

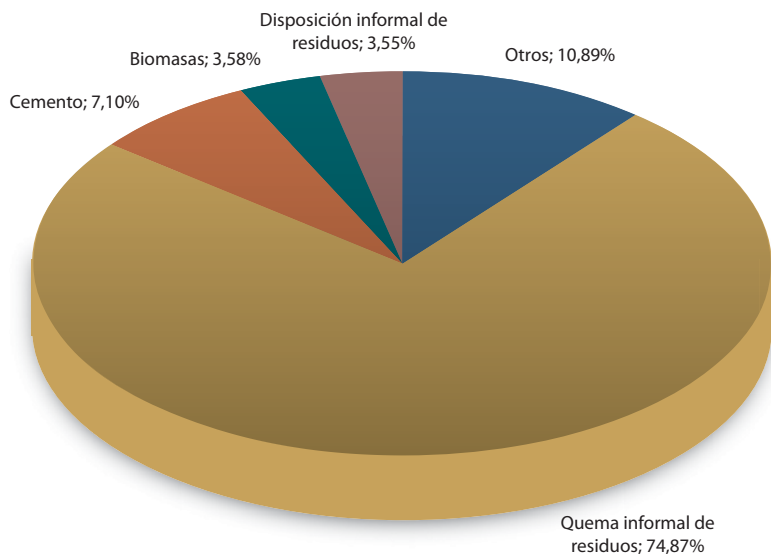


Figura 2.2. Emisión al aire: inventario N1

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.

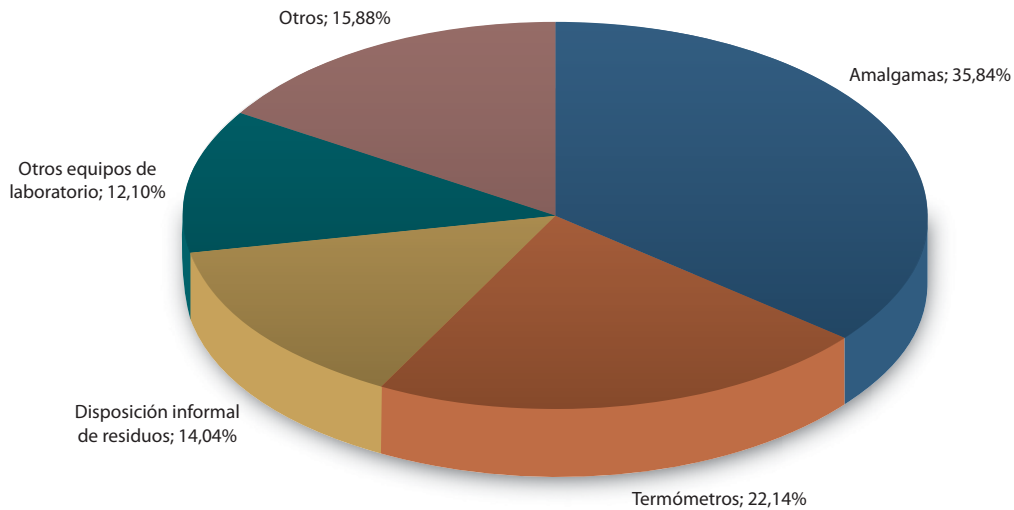


Figura 2.3. Emisión al agua: inventario N1

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.

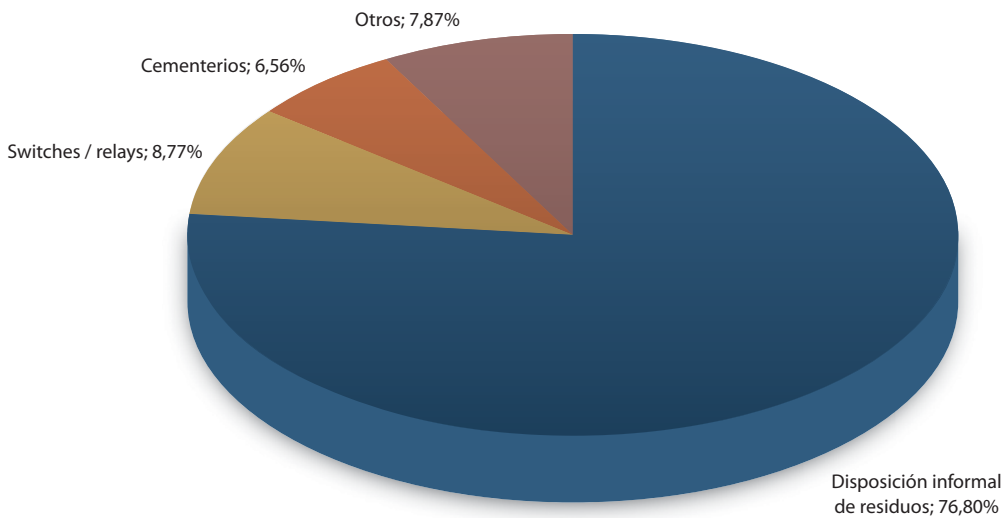


Figura 2.4. Emisión al suelo: inventario N1

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 %.

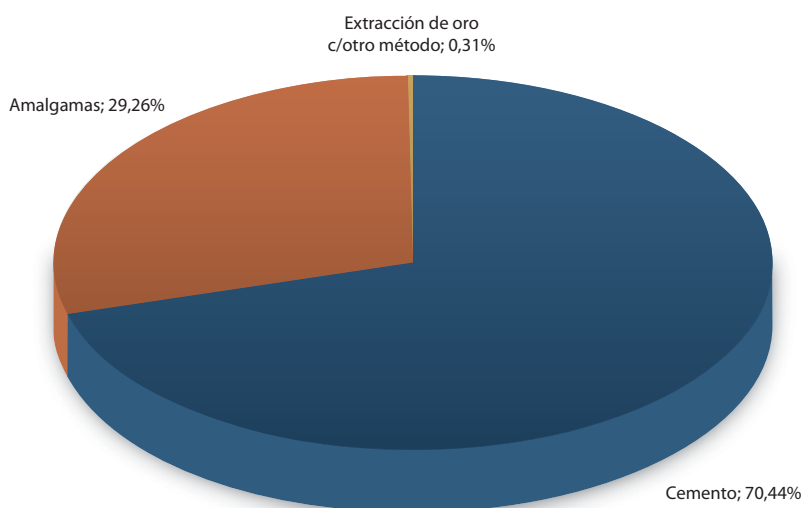


Figura 2.5. Emisión en los productos: inventario N1

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.

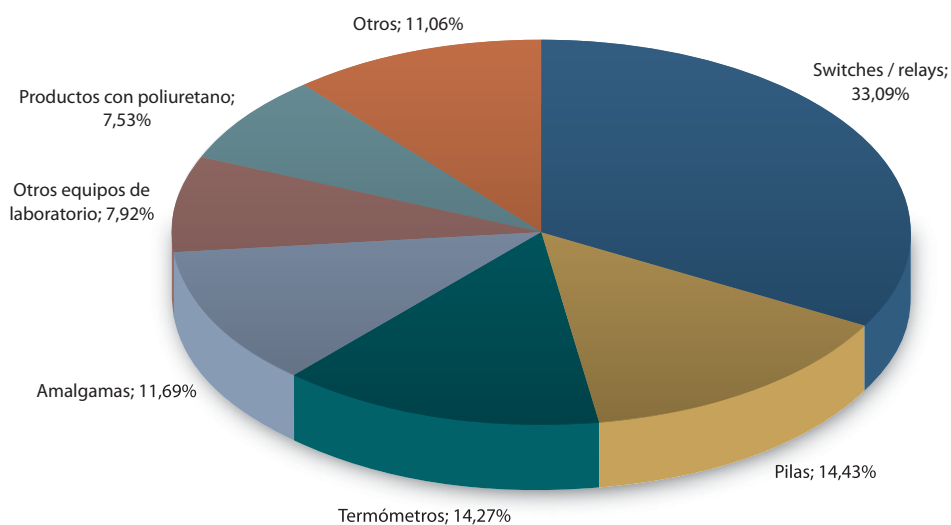


Figura 2.6. Emisión en los residuos: inventario N1

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.

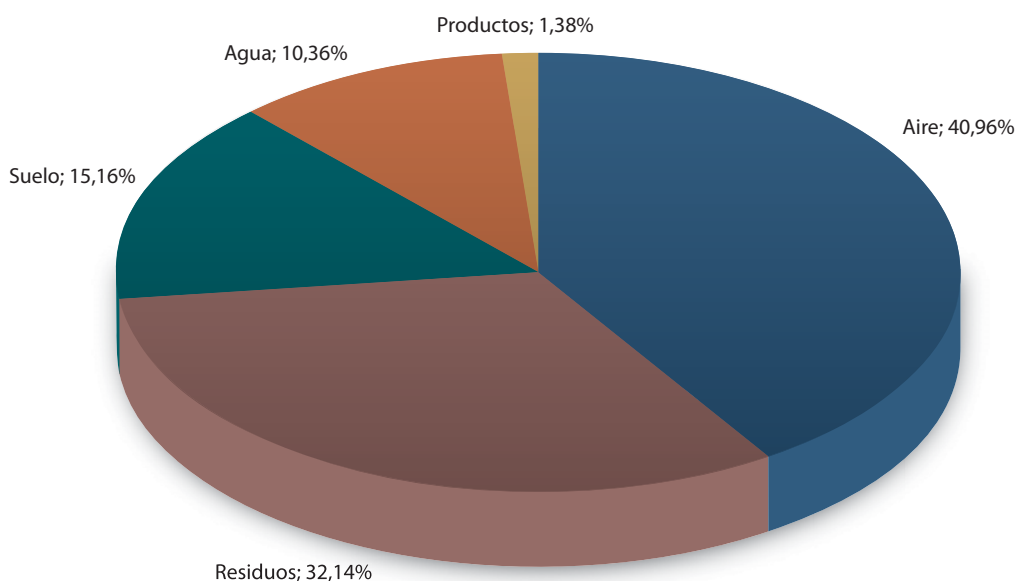


Figura 2.7. Emisiones totales por matriz: inventario N1

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.

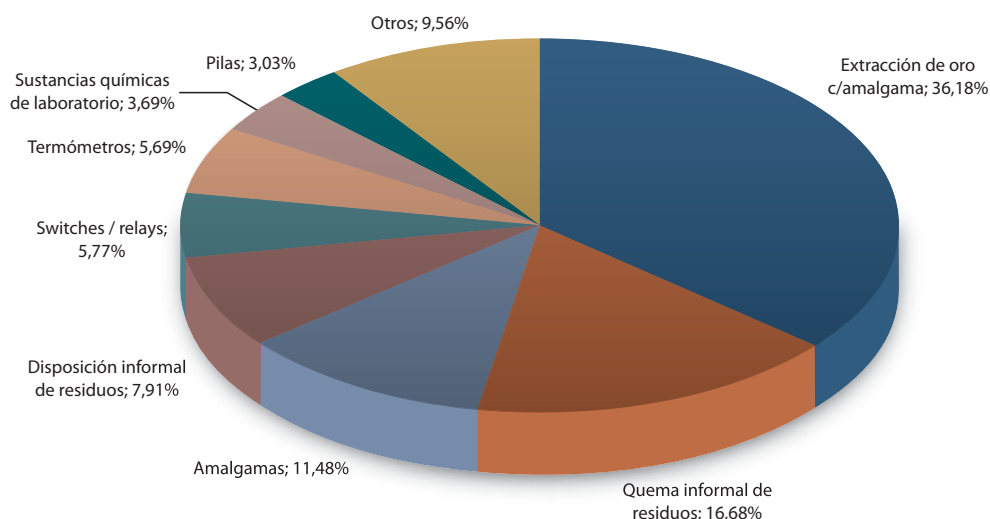


Figura 2.8. Emisión total de mercurio: inventario N2

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.

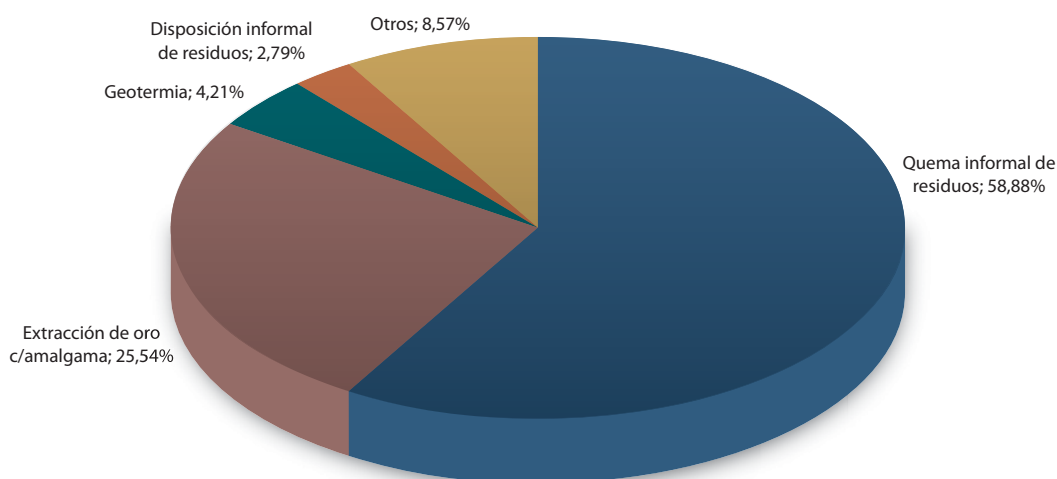


Figura 2.9. Emisión al aire: inventario N2

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.

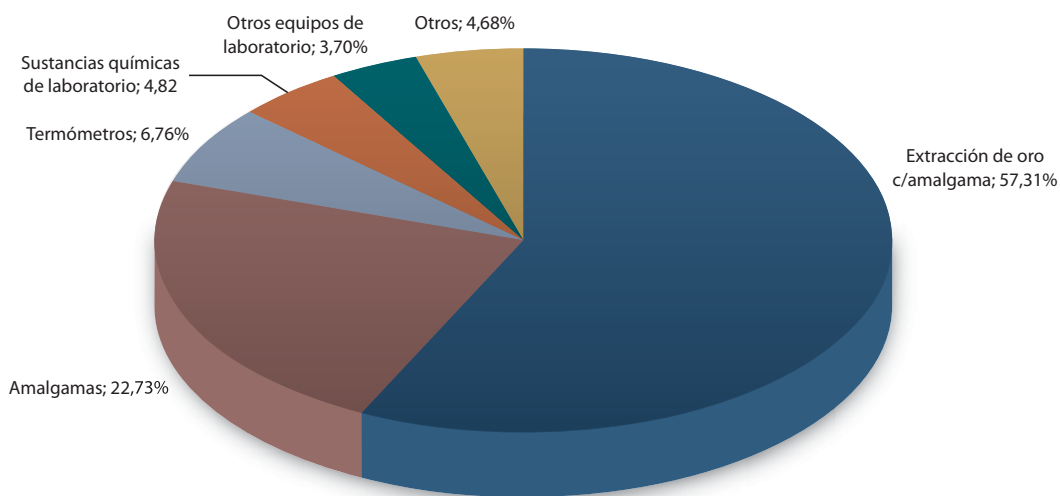


Figura 2.10. Emisión al agua: inventario N2

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.

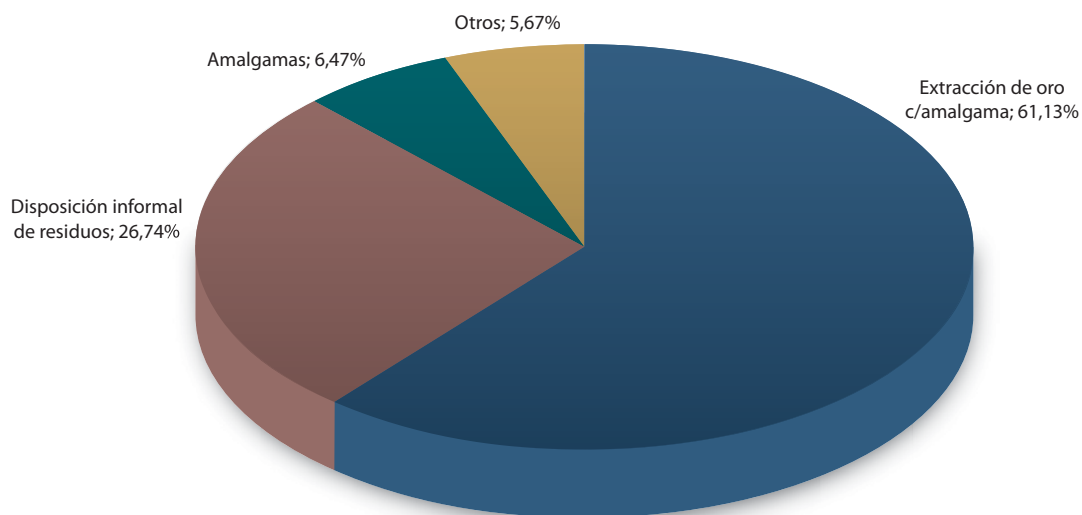


Figura 2.11. Emisión al suelo: inventario N2

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.

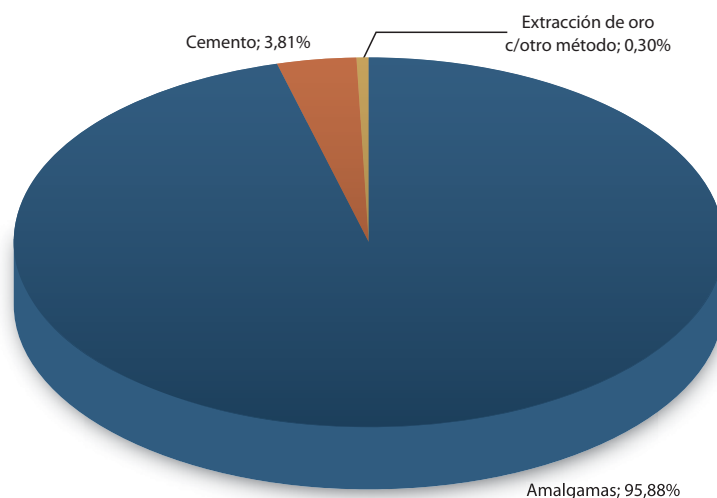


Figura 2.12. Emisión en los productos: inventario N2

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.

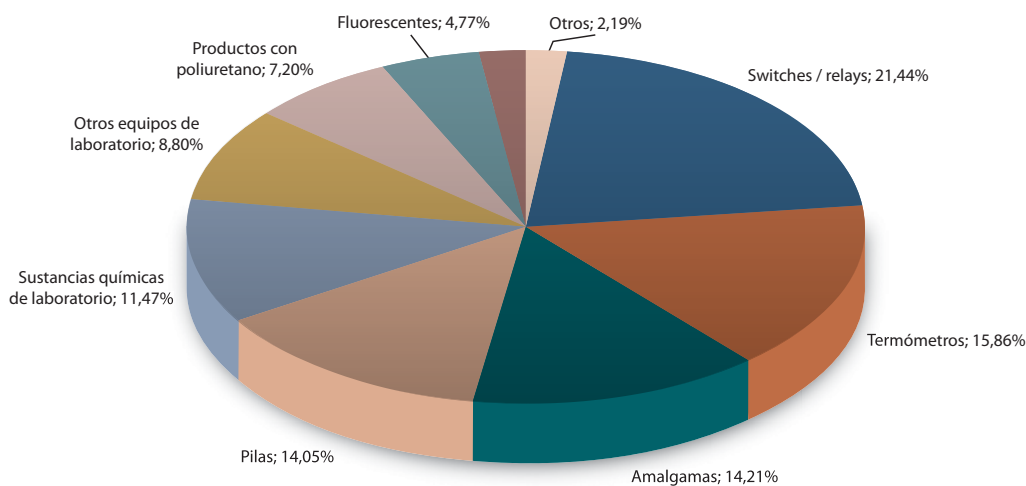


Figura 2.13. Emisión en los productos: inventario N2

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.

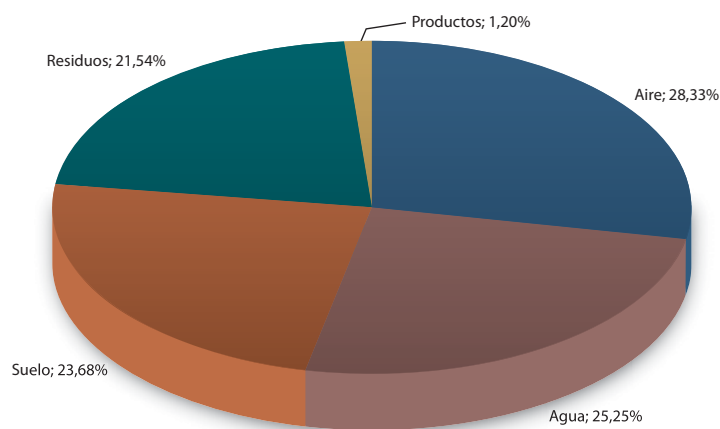


Figura 2.14. Emisiones totales por matriz: inventario N2

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 $0,1 \text{ g Hg (g oro)}^{-1}$, mientras que en el N2 es de $3 \text{ g Hg (g oro)}^{-1}$, 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 $3,8 \text{ g Hg (g oro)}^{-1}$ emitido al ambiente. El factor obtenido es ligeramente mayor que el sugerido en el inventario N2, que es de $3 \text{ g Hg (g oro)}^{-1}$. No obstante, este factor no fue utilizado ya que es necesario realizar más mediciones y pruebas para lograr la validación del mismo.

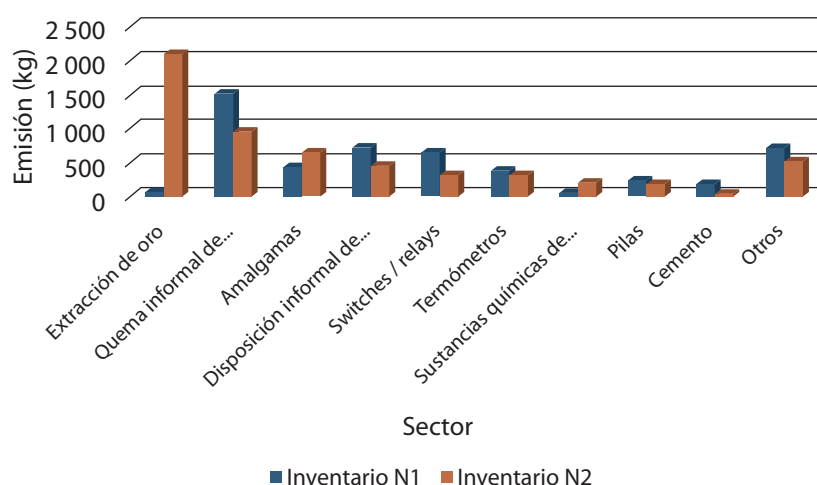


Figura 2.15. Comparación de la emisión total: inventarios N1 y N2

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.

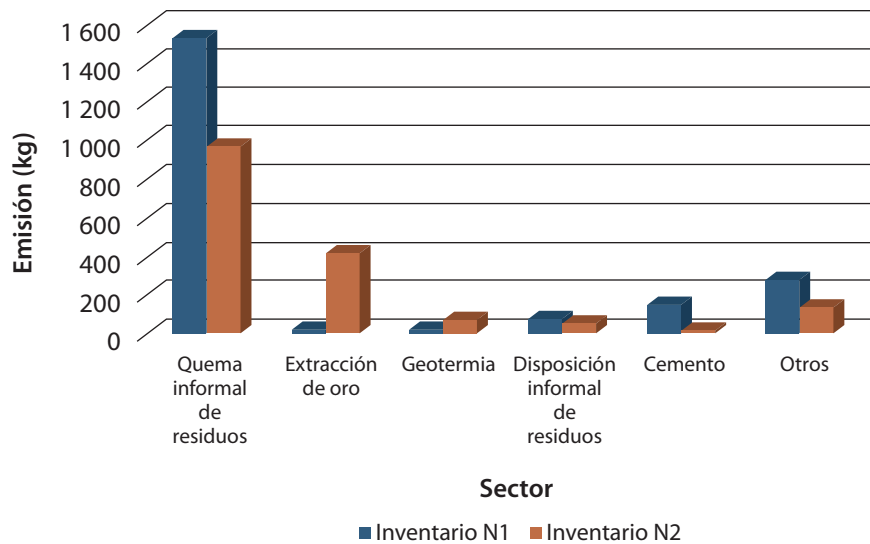


Figura 2.16. Comparación de la emisión al aire: inventarios N1 y N2

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.

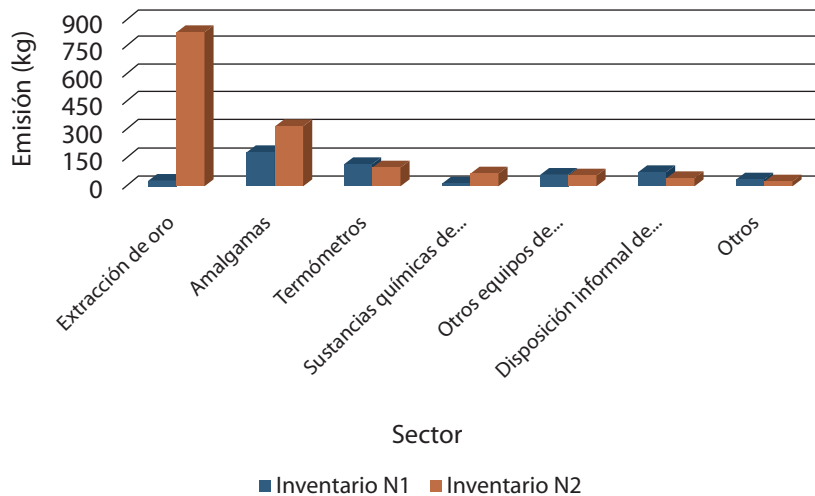


Figura 2.17. Comparación de la emisión al agua: inventarios N1 y N2

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.

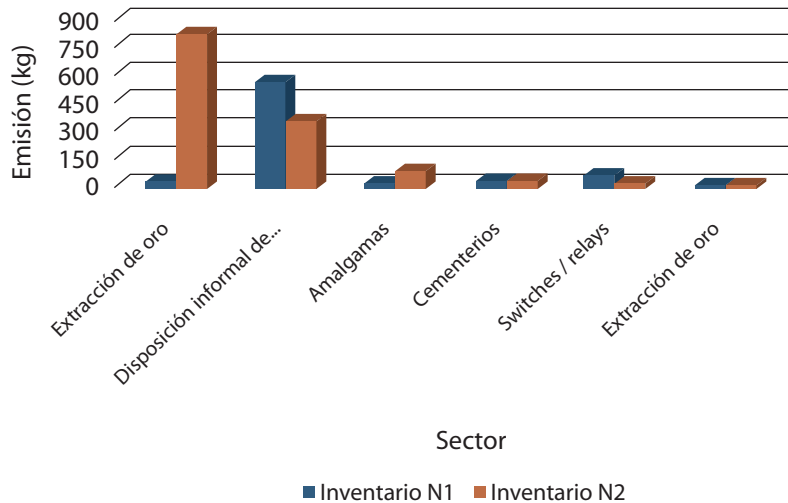


Figura 2.18. Comparación de la emisión al suelo: inventarios N1 y N2

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.

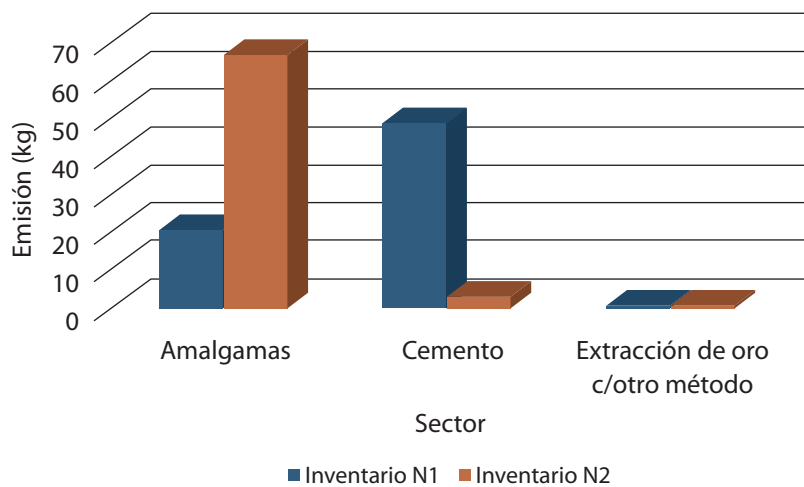


Figura 2.19. Comparación de la emisión en los productos: inventarios N1 y N2

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.

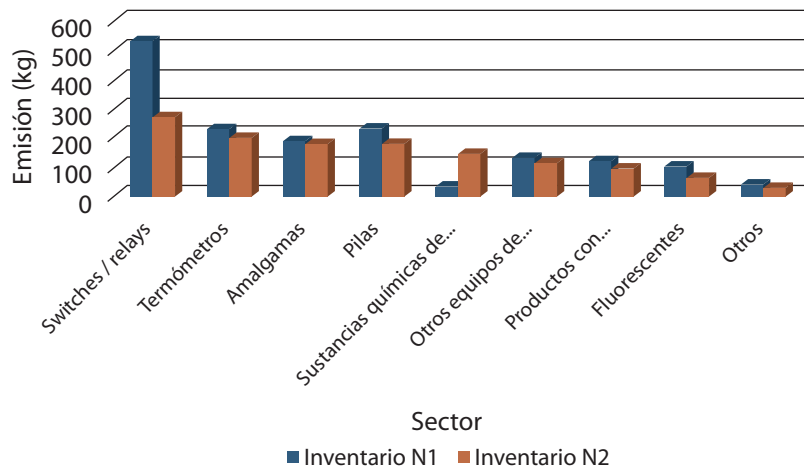


Figura 2.20. Comparación de la emisión en los residuos: inventarios N1 y N2

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.

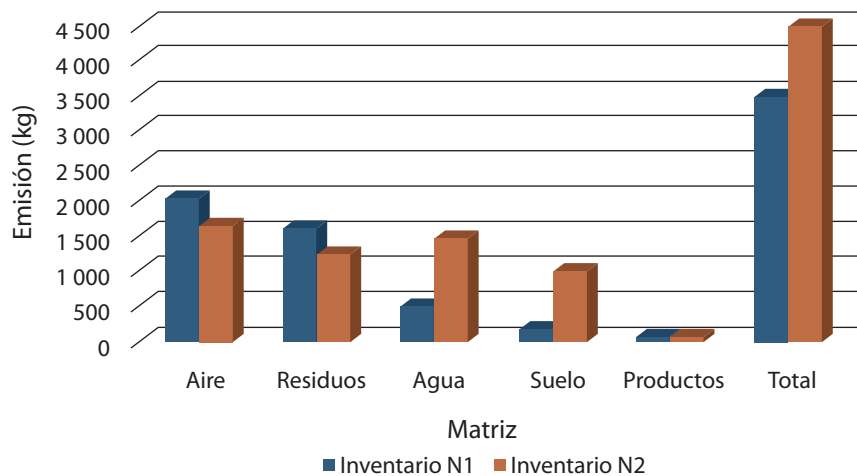


Figura 2.21. Comparación de la emisión total y las matrices: inventarios N1 y N2

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
Biomásas	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%
Biomásas	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%

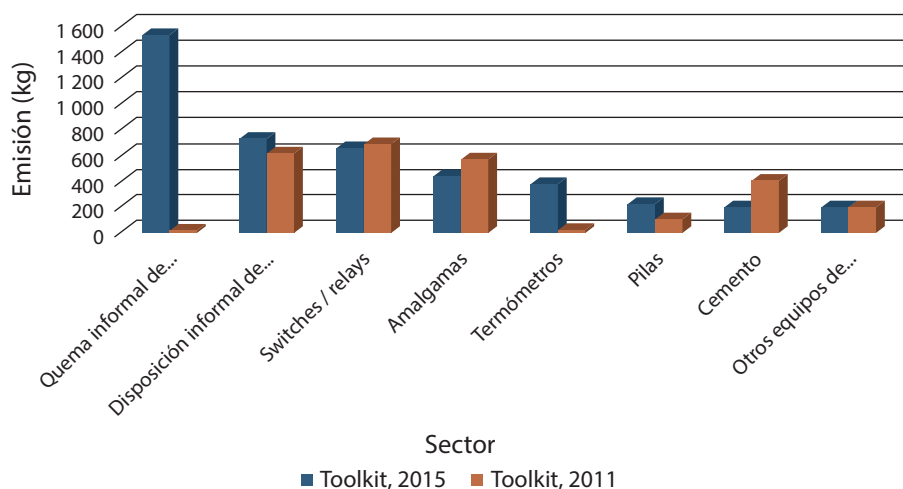


Figura 2.22. Comparación de la emisión total: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

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.

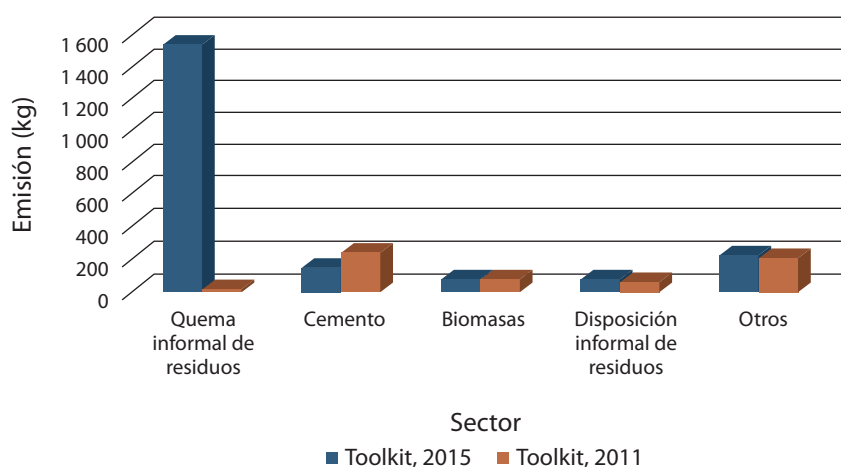


Figura 2.23. Comparación de la emisión al aire: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

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.

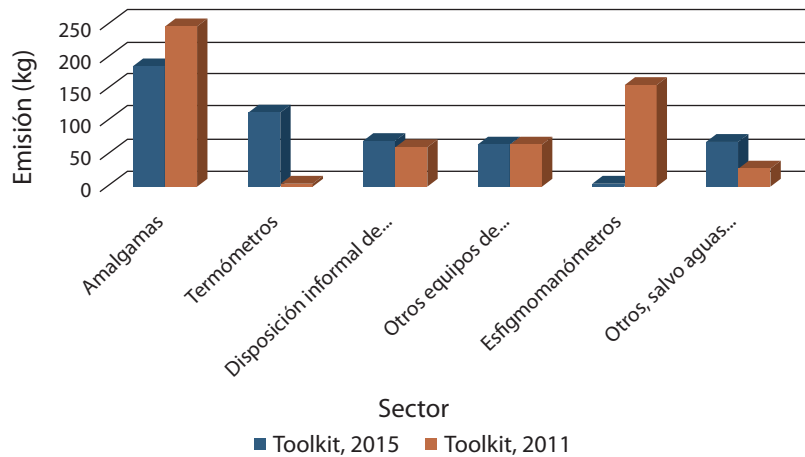


Figura 2.24. Comparación de la emisión al agua: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

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.

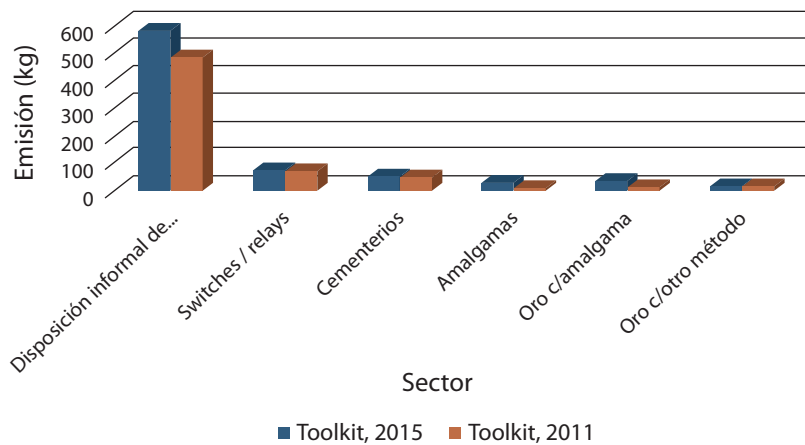


Figura 2.25. Comparación de la emisión al suelo: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

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.

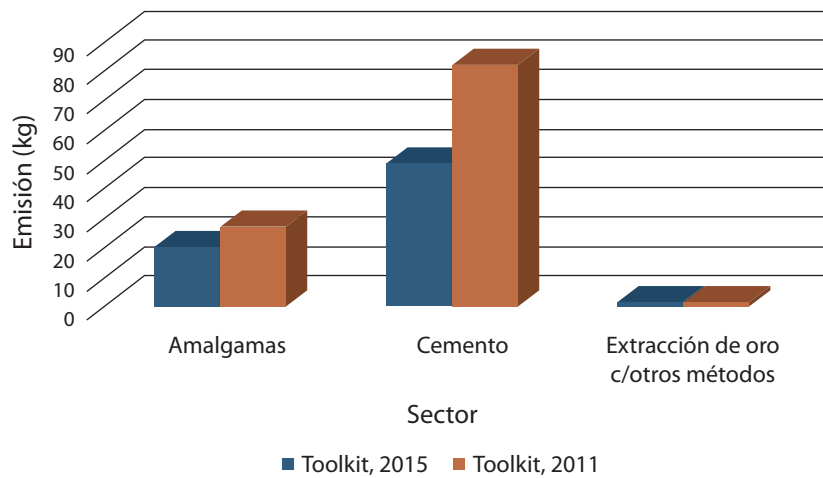


Figura 2.26. Comparación de la emisión en los productos: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

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.

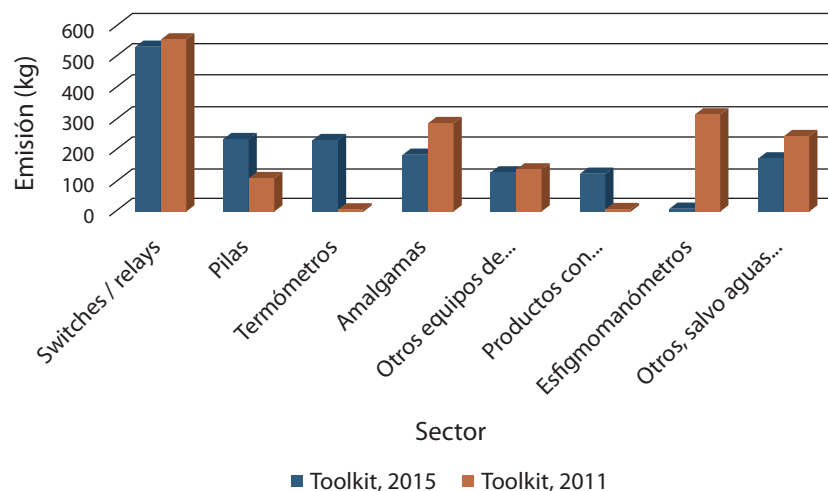


Figura 2.27. Comparación de la emisión en los productos: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

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.

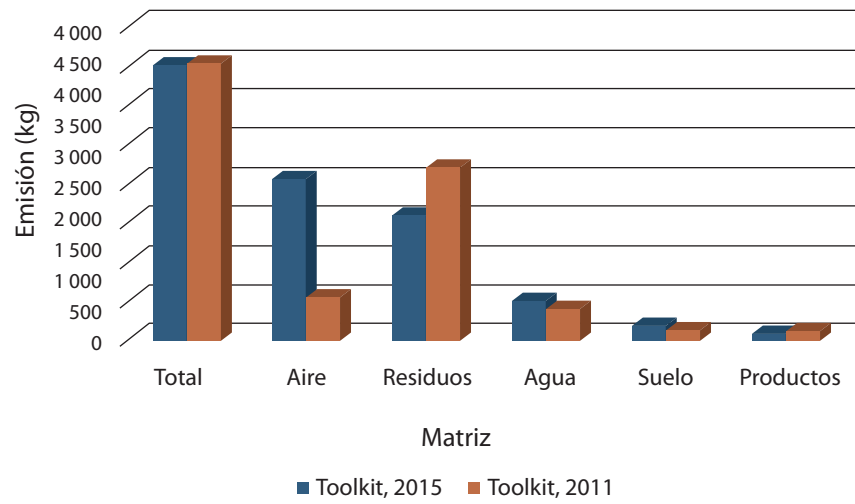


Figura 2.28. Comparación de las emisiones totales y por matriz: Toolkit (2015) y Toolkit (2011)

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). *Reportes 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.º 24 334-S, *La Gaceta* n.º114 (14 de junio de 1995).
- Costa Rica. Decreto n.º 27 769-MAG-S, *La Gaceta* n.º70 (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.º8904.
- 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 quemado 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.º 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.º 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.º 27 769, 1999).

El contenido en mercurio en pinturas en el país está regulado por el Decreto n.º 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.º 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.