

CUANTIFICACIÓN DE LIBERACIONES ANTROPOGÉNICAS DE MERCURIO EN COLOMBIA

Cálculos y cuantificaciones para el año 2009
Versión 1.0

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

REPUBLICA DE COLOMBIA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

GRUPO DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN – GDCON

DICIEMBRE 2010

ENTIDAD COORDINADORA

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)

Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible (DDSS)

Directora: Marcela Bonilla Madriñán mbonilla@minambiente.gov.co

Coordinador 2009 – 2011: Elias Pinto eliaspinto17@yahoo.com.

Profesional responsable: Ana María Rojas Bernal arojas@minambiente.gov.co.

Bogotá – Colombia

ENTIDAD EJECUTORA

Universidad de Antioquia.

Facultad de Ingeniería

Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación (GDCON).

Coordinador: Gustavo Antonio Peñuela Mesa. Dr. Química Ambiental.

Grupo Técnico

Daniel Esteban León Pérez. Ingeniero de Alimentos.

Juan Carlos Arango Escobar. M.Sc. Geomorfología y suelos, Geólogo.

Mónica Lucia Jaramillo Gallego. Administradora en Salud: gestión sanitaria y ambiental

Claudio Jiménez Cartagena. M.Sc. Bioquímica. Químico Farmacéutico.

Luz Dary Arboleda Gómez. Ingeniera Sanitaria

Lisys M. León Sevilla. M.Sc. Materiales, Ingeniera Mecánica.

Diana M. Arroyave. M.Sc. Materiales, Ingeniera Química.

Andrés Mauricio Ríos Rojas. Ingeniero Químico.

DATOS GENERALES DE LA POBLACIÓN COLOMBIANA	
Población	44.977.758
Año y referencia para los datos de población	2009 Referencia DANE
PIB (Producto Interno Bruto)	358.900.000.000
Año y referencia para los datos de PIB	2009 Referencia Banco República
Principales sectores de la economía del país	Agricultura, hidrocarburos, minería, industria manufacturera y automotriz

CONTACTO RESPONSABLE DEL INVENTARIO	
Institución	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Persona de contacto	Ana María Rojas
E-mail	arojas@minambiente.gov.co
Número telefónico	+571 - 332 3434 ext. 2440
Número de fax	+571 - 332 3434 ext. 2378
Sitio Web de la institución	http://www.minambiente.gov.co/

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
RESUMEN EJECUTIVO	8
INTRODUCCIÓN	9
ANTECEDENTES	10
Generalidades del mercurio	11
Geoquímica	11
Efectos potenciales sobre la salud	12
MARCO LEGAL	13
Legislación para residuos y desechos peligrosos	13
Políticas nacionales	13
Legislación relacionada con límites permisibles del mercurio	14
Otras normas relacionadas	14
Impuestos y exenciones en cuanto a residuos peligrosos	16
Guías minero ambiental	16
Convenios internacionales	16
Convenio de Basilea	16
Convenio de Rotterdam	16
Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a nivel internacional SAICM	16
Comité Intergubernamental de Negociación sobre mercurio	17
METODOLOGÍA	18
Conformación de grupos y coordinación de trabajo	18
Recolección de información	19
Primaria	19
Secundaria	19
Identificación y cuantificación de categorías	19
Toma de muestras y análisis	20
Socialización de los resultados del inventario	20
Propuesta de plan de acción	20

CUANTIFICACIÓN DE ENTRADAS Y LIBERACIONES DE MERCURIO	21
Identificación de fuentes de liberación de mercurio	21
Resumen de las entradas y liberaciones de mercurio	24
Entradas	24
Liberaciones al ambiente	27
CONSUMO DE ENERGÍA	30
Combustión de carbón en grandes centrales de energía	30
Otros usos del carbón	30
Combustión y uso de coque de petróleo y crudos pesados	31
Combustión y uso de diesel, gasolina, petróleo y queroseno	31
Biomasa quemada para producción de energía y calor	31
Carbón de leña	32
PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES	33
Extracción y refinación de petróleo	33
Extracción y procesamiento de gas natural	34
PRODUCCION PRIMARIA DE METALES	35
Extracción de oro sin amalgamación	35
Extracción de oro con amalgamación y sin uso de retorta	37
Producción primaria de metales ferrosos (hierro, producción de acero)	38
PRODUCCIÓN DE OTROS MATERIALES	40
Producción de cemento	40
Producción de pulpa y papel	40
PROCESOS Y PRODUCTOS CON USO INTENCIONAL DE MERCURIO	42
Producción de químicos	42
Producción de cloro álcali con tecnología de mercurio	42
Producción de monómeros de cloruro de vinilo (MCV)	44
Producción de productos con contenido de mercurio	45
Acumuladores y pilas eléctricas	45
Lámparas eléctricas y equipos de iluminación	46

USO Y DISPOSICIÓN DE PRODUCTOS Y SUSTANCIAS CON CONTENIDO DE MERCURIO	47
Empastes dentales de amalgamas	48
Pilas o baterías	49
Lámparas fluorescentes compactas (LFC) y otras bombillas fluorescentes	50
Interruptores eléctricos	51
Termómetros	51
Termómetros de mercurio para medir la temperatura corporal	51
Termómetros para fines institucionales de educación y usos médicos	51
Termómetros de usos industriales	51
Pinturas	52
Otros manómetros y medidores de mercurio	53
Laboratorios químicos y otros laboratorios y equipos médicos con mercurio	53
GESTIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS	55
Producción de metales reciclados	55
Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)	55
Incineración de residuos	56
Incineración de desechos municipales	56
Incineración de desechos peligrosos	57
Incineración de desechos médicos	57
Incineración de lodos cloacales	58
Quema de desechos a cielo abierto	58
Disposición de residuos rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales	58
Rellenos sanitarios/depósitos controlados	58
Vertederos informales de desechos	60
Sistemas de tratamiento de aguas residuales	60
CREMATARIOS Y CEMENTERIOS	62
ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
Entradas de mercurio	64
Liberaciones de mercurio	66
Análisis por categorías	67

VACIOS DE INFORMACIÓN	69
PUNTOS CALIENTES	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	74
SIGLAS Y UNIDADES EMPLEADAS	76
Siglas de instituciones	76
Siglas de productos	76
Unidades de medida	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE LIBERACIÓN DE MERCURIO.....	21
TABLA 2. FUENTES ADICIONALES DE MERCURIO NO CUANTIFICADAS EN EL NIVEL 1 DEL INSTRUMENTAL.....	23
TABLA 3. CUANTIFICACIÓN DE ENTRADAS DE MERCURIO POR CATEGORÍAS	24
TABLA 4. CUANTIFICACIÓN DE LIBERACIÓN DE MERCURIO POR CATEGORÍAS.....	27
TABLA 5. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA COMBUSTIÓN DE CARBÓN EN GRANDES PLANTAS TERMOELÉCTRICAS.....	30
TABLA 6. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN OTROS USOS DE CARBÓN.....	31
TABLA 7. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA QUEMA DE BIOMASA	32
TABLA 8. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO	33
TABLA 9. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA REFINACIÓN DE PETRÓLEO	33
TABLA 10. EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE GAS NATURAL.....	34
TABLA 11. PRODUCCIÓN DE ORO EN COLOMBIA.....	35
TABLA 12. PRODUCCIÓN DE LAS EMPRESAS MÁS GRANDES DE ORO EN COLOMBIA.....	36
TABLA 13. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA EXTRACCIÓN DE ORO SIN AMALGAMACIÓN.....	36
TABLA 14. IMPORTACIÓN DE MERCURIO PARA LOS AÑOS 2007 A 2009.....	37
TABLA 15. EMPRESAS IMPORTADORAS DE MERCURIO METÁLICO EN EL AÑO 2009	37
TABLA 16. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA EXTRACCIÓN DE ORO CON AMALGAMACIÓN - SIN USO DE RETORTA.....	38
TABLA 17. PRODUCCIÓN DE HIERRO DURANTE LOS AÑOS 2004 A 2009	38
TABLA 18. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DE METALES FERROSOS.....	39
TABLA 19. PRODUCCIÓN DE CEMENTO EN COLOMBIA DURANTE LOS AÑOS 2007 A 2009	40
TABLA 20. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO.....	40
TABLA 21. PRODUCCIÓN DE CEMENTO	41
TABLA 22. PRODUCCIÓN PARCIAL DE CLOROÁLCALI EN COLOMBIA.....	43
TABLA 23. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA PRODUCCIÓN DE CLORO-ÁLCALI.....	43
TABLA 24. COMERCIO DE MONÓMEROS DE CLORURO DE VINILO (VCM) EN COLOMBIA.....	44
TABLA 25. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA PRODUCCIÓN DE MONÓMEROS DE CLORURO DE VINILO.....	45
TABLA 26. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN AMALGAMAS DENTALES.....	48
TABLA 27. CUANTIFICACIÓN DE LIBERACIONES DERIVADAS DE LOS EMPASTES HACE 5 A 15 AÑOS	49
TABLA 28. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LAS BATERÍAS TIPO BOTÓN.....	50
TABLA 29. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN FUENTES DE LUZ CON MERCURIO	50
TABLA 30. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN INTERRUPTORES ELÉCTRICOS CON MERCURIO	51
TABLA 31. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN TERMÓMETROS.....	52
TABLA 32. OTROS MANÓMETROS Y MEDIDORES DE MERCURIO.....	53
TABLA 33. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LABORATORIOS QUÍMICOS.....	54
TABLA 34. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN OTROS LABORATORIOS MÉDICOS.....	54
TABLA 36. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA INCINERACIÓN DE DESECHOS PELIGROSOS.....	57
TABLA 37. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LA INCINERACIÓN DE DESECHOS MÉDICOS.....	58
TABLA 38. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO POR QUEMA DE DESECHOS A CIELO ABIERTO	58
TABLA 39. RELLENOS SANITARIOS/DEPÓSITOS CONTROLADOS.....	59
TABLA 40. VERTEDEROS INFORMALES DE DESECHOS.....	60
TABLA 41. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	61
TABLA 42. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LOS HORNOS CREMATORIOS COLOMBIANOS.....	63
TABLA 43. CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN LOS CEMENTERIOS COLOMBIANOS.....	63
TABLA 44. CUANTIFICACIÓN DE LAS LIBERACIONES DE MERCURIO EN COLOMBIA PARA EL AÑO 2009	66

RESUMEN EJECUTIVO

En este inventario se cuantifican las liberaciones de mercurio, generadas en los diferentes sectores productivos y de servicios de Colombia, durante el año 2009. Para su realización se tomo como guía el instructivo propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, en inglés UNEP). Para facilitar la organización del documento, el inventario se ha dividido en las siguientes categorías: extracción y uso de combustibles como fuentes de energía; producción primaria (virgen) de metales; productos químicos; uso y disposición de productos con contenido de mercurio; producción de otros materiales; producción de metales reciclados (producción “secundaria” de metales); incineración de residuos; disposición de residuos, rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales; crematorios y cementerios. Adicional a esto se han determinado zonas potenciales de acumulación de mercurio, con base en las condiciones ambientales presentes y en las actividades económicas que allí se desarrollan, denominadas puntos calientes.

Los resultados obtenidos muestran que en el año 2009 la entrada de mercurio fue de 352,3 toneladas (t) y que las actividades que más aportan son: producción primaria de metales con 194,97 Ton/año; producción de químicos con 97,60 t/año; disposición de residuos y tratamiento de aguas residuales con 57,81 t/año y uso y disposición de productos con contenido de mercurio (termómetros, interruptores eléctricos, fuentes de luz, Pilas) con 1,00 t/año.

En cuanto a las liberaciones de mercurio en el ambiente se observa que la matriz más afectada es el suelo, que recibe 151,65 t/año equivalente al 43,9% del total de las liberaciones, seguido por el aire con 74,42 t/año (21,5%); los tratamientos de desechos de sectores específicos con 45,40 t/año (13,1%); el agua con 31,26 t/año (9,0%); los subproductos e impurezas con 28,19 t/año (8,2%) y los desechos en general con 14,65 t/año (4,2%).

Los cálculos se hicieron con los factores de entrada y salida propuestos por el PNUMA y en algunos casos, como en el de la minería de oro artesanal y de pequeña escala (MAPE, ASGM en inglés), fue posible determinar valores propios del país. Los resultados obtenidos sirvieron de base para la formulación de una propuesta de plan de acción nacional que contempla estrategias para reducir, eliminar, prevenir y controlar la contaminación por mercurio en Colombia y el cual puede consultarse en los anexos del documento.

El Equipo Técnico Coordinador agradece a las instituciones, empresas y organizaciones que prestaron su apoyo para la elaboración del presente trabajo.

INTRODUCCIÓN

El mercurio constituye un desafío en la gestión de residuos especiales ya que el manejo inadecuado de los productos y procesos que lo contienen, aun en concentraciones traza, constituyen una fuente frecuente de contaminación ambiental, afectando las corrientes hídricas, el aire, el suelo. La preocupación mundial sobre el mercurio ha llevado a la formulación de mecanismos de control y mitigación, entre los que se encuentran: el Convenio de Basilea sobre el control de los Movimientos Transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, vigente en la comunidad Europea desde 1994 y el cual fue suscrito por Colombia en 1996, mediante la ley 253 y el Instrumento Juridicamente Vinculante sobre Mercurio que pretende regular el uso y comercio del mercurio en todo el mundo. Este proceso que empezó en el año 2009 y entrará en vigor a partir del 2013, cuenta con un Comité de Negociación Internacional del cual hace parte Colombia. Así mismo, se han realizado estudios y documentos guía que han permitido establecer un diagnóstico de la problemática y han aportado herramientas para la cuantificación del uso y las liberaciones de mercurio dentro del sistema productivo.

En el año 2002 el PNUMA, en cooperación con el Programa Interinstitucional de Gestión Racional de los Productos Químicos (IOMC), publica la versión en inglés del documento “*Global Mercury Assessment Report*” (*Evaluación Mundial sobre el Mercurio*), en el cual se expone la problemática mundial relacionada a su uso y se plantean algunas iniciativas para controlar su liberación al ambiente. Para la elaboración de este documento se creó un grupo de trabajo integrado por miembros designados por los gobiernos, organizaciones intergubernamentales y organizaciones no gubernamentales. Al conocer los resultados de esta evaluación el PNUMA crea la Asociación Mundial sobre el Mercurio (*Global Mercury Partnership*) como mecanismo principal para el desarrollo de acciones inmediatas sobre el mercurio con el fin de proteger la salud humana y el ambiente mundial de las liberaciones de mercurio y sus compuestos mediante la reducción o eliminación de las liberaciones antropogénicas a nivel mundial.

En el año 2005, el PNUMA diseña el “*Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio*”, herramienta que tiene como objeto asistir a los países en el cálculo de las liberaciones de mercurio en el aire, agua, suelo, residuos, productos y tratamiento/disposición específica a partir de las diferentes fuentes, con el fin de evaluar los riesgos y tomar las medidas necesarias en los ámbitos regional, nacional y mundial. Este instrumento proporciona una metodología estandarizada y una base de datos que permiten hacer cálculos de liberaciones a nivel nacional y regional.

En el año 2007, Chile, Ecuador y Panamá, elaboraron sus inventarios nacionales de liberaciones de Mercurio. Los organismos encargados fueron la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA); el Ministerio del Ambiente y la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), respectivamente.

En Colombia la entidad que lidera la elaboración del Inventario Nacional de Mercurio es el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), cuya primera versión fue realizada por el Grupo de Investigación Diagnóstico y Control de la Contaminación (GDCON) de la Universidad de Antioquia mediante el contrato interadministrativo 07-2010.

ANTECEDENTES

Los niveles de mercurio en el ambiente se han incrementado considerablemente desde el inicio de la era industrial, convirtiéndose en una preocupación mundial debido a los efectos en salud que genera, especialmente cuando se presenta como metilmercurio $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$, especie química que puede acumularse en el cerebro causando graves daños al Sistema Nervioso Central y malformaciones genéticas. Actualmente, se estima que las liberaciones mundiales de mercurio son del orden de 6000 toneladas por año y provienen de actividades como la combustión de carbón, la refinación y combustión de petróleo y gas natural, la producción de cemento, acero y fosfatos, la industria de cloro álcali y la extracción de oro, entre otras [4].

Para Colombia la situación es preocupante ya que en el 2010 la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), publicó un informe en el cual se concluye que Colombia es el tercer país del mundo que más contamina con mercurio ya que libera entre 50 y 100 toneladas anuales en el proceso de extracción y amalgamación artesanal de oro [9]. Datos colectados por la Universidad de Columbia Británica (UBC, en inglés) y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) muestran que en esta región se liberan entre 60 y 100 t Hg/año, siendo estas las concentraciones de mercurio más altas por persona en el mundo; el aire alcanza el millón de ng Hg/m³ dentro de las tiendas de oro cuando el límite de exposición pública es de 1000 ng /m³ [10]; un 46,3% del mercurio pulverizado en los molinos de bolas se pierde con las colas, es decir se libera al suelo y al agua [9]. En la zona urbana del Municipio de Segovia las concentraciones de mercurio en el aire varían entre 40.000 y 80.000 ng/m³ superando ampliamente el valor máximo permisible de 10 ng/m³ [11].

Otros estudios realizados en la Mojana muestran que algunas especies de peces que sustentan la dieta de las personas de la región presentan concentraciones de mercurio por encima de los valores máximos permisibles [5,6]. Así mismo, el Río Magdalena que surte de agua a las comunidades ribereñas capta las aguas del Río Bogotá, cuyas concentraciones de metales pesados están por encima de los niveles máximos permitidos; los vertimientos de un parque industrial diversificado que comprende industrias de equipos eléctricos, metalúrgicas, manufactureras, petroquímicas y curtiembres, entre otras, y los residuos de los fertilizantes y plaguicidas que llegan por arrastre a su cauce [7].

En la región de la Orinoquía colombiana, el crecimiento de la minería aurífera en los últimos 15 años, ha generado un problema de salud pública debido al uso del mercurio, durante el proceso de amalgamación del oro, en ambientes laborales precarios y a la falta de conocimiento del riesgo que este representa. Los valores que se han reportado son: en sangre, oscilaron entre 6,9 y 168 µg/L para mineros y entre 17,7 y 100,8 µg/L para individuos indirectamente expuestos; en cabello las concentraciones están entre 3 y 89,2 µg/L y entre 2,8 y 48,7 µg/L, respectivamente [12].

En el sur de Bolívar los resultados de los análisis de mercurio revelan que la presencia de mercurio aumenta en el siguiente orden: buchón de agua < peces fitoplanctónicos < peces carnívoros < humanos. Esto es un ejemplo del proceso de biomagnificación a través de la cadena trófica, en el cual las plantas acuáticas que se fijan al sedimento captan el mercurio biodisponible en el agua y el sedimento; los animales y los humanos que se alimentan directa e indirectamente de esas plantas biomagnifican las concentraciones de mercurio hasta alcanzar valores tóxicos[4].

En la Bahía de Cartagena, un estudio reveló que las concentraciones de mercurio en cabello oscilan entre 0,1 y 21,8 µg/g y que las mayores concentraciones en los cangrejos, cuyo valor medio es igual al umbral de

riesgo recomendado por la EPA, se encontraron en los individuos que viven al frente de una planta de cloro álcali abandonada y que sirven de fuente de alimento a la población [13].

Pese a lo anterior, el país no tiene un diagnóstico de las fuentes antropogénicas y productos que contienen mercurio, de la cantidad de unidades existentes ni de la cantidad de mercurio que contienen. De ahí, la necesidad de elaborar este primer inventario que constituye una aproximación a la cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio. Los resultados aquí presentados deben analizarse teniendo en cuenta los vacíos de información existentes en los diversos sectores. En la medida que se implementen sistemas de monitoreo, a nivel nacional, para los diferentes sectores productivos este inventario se podrá ir detallando y mejorando y podrá tenerse una idea más exacta de la realidad nacional.

GENERALIDADES DEL MERCURIO

El Mercurio es el único metal líquido a temperatura ambiente; es de color blanco plateado; con densidad de 13.534 g/cm³; punto de fusión de -38.86 °C; comparado con otros metales es un mal conductor de calor y buen conductor eléctrico. Forma fácilmente aleaciones o amalgamas con el oro, la plata y el estaño, razón por la cual es ampliamente utilizado en el beneficio de estos. La fuente natural de mercurio más importante a nivel económico es el cinabrio, un sulfuro cuyo contenido de mercurio alcanza el 85% y la principal fuente antropogénica la constituyen los residuos industriales que se acumulan en los cuerpos de agua, los sedimentos y la atmósfera [14].

Geoquímica

El mercurio puede liberarse de manera natural, por procesos como la degradación de las rocas y los suelos, las erupciones volcánicas o de manera antropogénica, mediante algunas actividades industriales que lo utilizan o generan en sus procesos productivos.

Por su carácter metálico, no se degrada ni se descompone sino que cambia su estado o especie química, siendo las especies orgánicas las más tóxicas debido a su capacidad de acumulación en los tejidos blandos de los seres vivos. Puede ser transportado por los sedimentos, el agua y el viento, durante largas distancias generando un problema de contaminación regional, aunque las liberaciones sean locales [15].

Las sales más importantes son: el cloruro mercúrico (HgCl_2), cloruro mercurioso (Hg_2Cl_2), fulminato de mercurio ($\text{Hg}(\text{ONC})_2$) y el sulfuro mercúrico (HgS); además, los compuestos orgánicos de mercurio, como dimetilmercurio, fenilmercurio, etilmercurio y metilmercurio, son considerados altamente tóxicos y por lo tanto perjudiciales para la salud humana y el ambiente. El metilmercurio, por ejemplo, que se acumula en lagos y ríos, y posteriormente en los tejidos blandos, principalmente en el cerebro, de los peces depredadores de agua salada y dulce como el tiburón; el pez espada; algunas especies de atún, que se suelen vender frescos o congelados, y en los mamíferos marinos [16]. La metilación o demetilación del mercurio genera un cambio en la especie química, este proceso puede darse por la acción de bacterias y hongos que convierten las especies inorgánicas en orgánicas y viceversa.

Es importante recalcar que debido a su toxicidad, el mercurio debe manipularse bajo estrictas normas de seguridad por lo que es recomendable contar con la asesoría de un profesional en química o laboratorio de salud pública calificado para su eliminación y almacenamiento. Si se va a manipular mercurio se debe tener en cuenta que los contenedores estén bien cubiertos y no tengan rupturas de ningún tipo; evitar derrames accidentales o vertimientos incontrolados en el ambiente; hacer la quema utilizando equipos que impidan su liberación directa al aire o en lugares bien ventilados [17].

Efectos potenciales sobre la salud

Los efectos sobre la salud dependen de la vía de ingreso al organismo: inhalación, ingesta o contacto con la piel; la dosis y el tiempo de exposición; la edad y el sexo, siendo el feto y las mujeres más susceptibles; el estado de salud, la raza y el peso de la persona expuesta y la especie química del metal: elemental, orgánica o inorgánica. Por ejemplo, si una persona ingiere accidentalmente mercurio elemental líquido por el rompimiento de un termómetro, el mercurio se absorbe poco. Sin embargo, el vapor producido en ese derrame será más fácilmente absorbido por el cuerpo, generando problemas de salud más severos. A mayores concentraciones, el vapor de mercurio puede causar daños en la boca, el tracto respiratorio y los pulmones, y puede provocar la muerte por insuficiencia respiratoria [19]. El mercurio en forma de vapor, líquido y metilmercurio se consideran de más fácil absorción que las sales de mercurio inorgánico y, por consiguiente, pueden causar un mayor daño. [18].

El metilmercurio es absorbido por el tracto digestivo y se distribuye por todo el cuerpo, se bioacumula fácilmente en el cerebro, donde puede permanecer durante un largo periodo de tiempo. En una mujer embarazada puede cruzar la placenta hacia el feto, acumulándose en el cerebro y tejidos de este y causando daños en el sistema nervioso central o malformaciones; también puede llegar al bebé por la leche materna.

El mercurio inorgánico puede causar insuficiencia renal y daño gastrointestinal. Las sales de mercurio son irritantes y pueden causar ampollas y úlceras en los labios y la lengua. Sarpullidos, sudoración excesiva, irritabilidad, temblores musculares, debilidad y alta presión arterial son otros síntomas de una exposición elevada [20].

En condiciones normales las personas no están en riesgo de envenenamiento por mercurio. Sin embargo, la exposición a niveles elevados puede provocar erupciones cutáneas, problemas mentales, malformaciones físicas del feto e incluso la muerte en casos de intoxicación extrema. En los niños, dependiendo del nivel de exposición al mercurio, puede presentarse una disminución en el coeficiente intelectual, en el desarrollo del sistema nervioso, retraso en el caminar y el hablar, falta de coordinación, ceguera y convulsiones. En los adultos, la exposición extrema puede conducir a cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, pérdida de coordinación muscular, sensibilidad y memoria, deterioro intelectual, e incluso la muerte [21].

Las personas que consumen grandes cantidades de peces, mamíferos marinos y animales depredadores contaminados con mercurio, como parte de su dieta diaria, aumentan su nivel de exposición y por ende el riesgo de intoxicación. De igual manera los niños, que tienden a llevarse objetos a la boca, pueden aumentar su ingesta de mercurio a través de los objetos y suelos contaminados [22].

MARCO LEGAL

Los fundamentos legislativos en política ambiental están dados básicamente por:

- El Decreto 2811 de 1974 que dicta el Código Nacional de Recursos Naturales.
- La Ley 9 de 1979 por la cual se dictan medidas sanitarias, sanciones y prohibiciones.
- El Código de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- La Constitución Nacional de 1991.
- La Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente.

LEGISLACIÓN PARA RESIDUOS Y DESECHOS PELIGROSOS

Decreto 4741 de 2005 por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.

Ley 1252 de 2008, por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. Esta Ley tiene por objeto regular, dentro del marco de la gestión integral y velando por la protección de la salud humana y el ambiente, todo lo relacionado con la importación y exportación de residuos peligrosos en el territorio nacional, según lo establecido en el Convenio de Basilea.

Resolución 1297 de 2010 por el cual se establece los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de pilas y/o acumuladores y se adoptan otras disposiciones.

POLÍTICAS NACIONALES

Política ambiental para la gestión de residuos o desechos peligrosos de 2005, presenta objetivos y metas hasta el 2018 y un plan de acción hasta el 2010. El desafío más grande que tiene esta política, es desarrollar esquemas que resuelvan los graves problemas que conllevan la generación y el manejo inadecuado de los residuos peligrosos; atiendan la necesidad que tiene el país de un desarrollo sostenible, incluyente y equitativo; que reduzca los niveles de pobreza; que fomente la creación de fuentes de ingresos y de empleos; que eleve la competitividad de los sectores y que mejore el desempeño ambiental de todos los actores y sectores sociales que generan y manejan residuos peligrosos.

La política nacional de producción más limpia, formulada en 1997 por el Ministerio del Medio Ambiente, está orientada hacia la prevención y minimización de los impactos y riesgos a los seres humanos y al medio ambiente, garantizando la protección ambiental, el crecimiento económico, el bienestar social y la competitividad empresarial, a partir de la introducción de la dimensión ambiental en los sectores productivos, como un desafío de largo plazo. Su implementación busca: optimizar el consumo de los recursos naturales y las materias primas; aumentar la eficiencia energética y utilizar energéticos más limpios; prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes; prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas; adoptar tecnologías más limpias y prácticas de mejoramiento continuo de la gestión ambiental y minimizar y aprovechar los residuos [23].

LEGISLACIÓN RELACIONADA CON LÍMITES PERMISIBLES DEL MERCURIO

Decreto 1594 de 1984, por el cual se reglamenta usos del agua y residuos líquidos:

Art. 38. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional: Mercurio 0,002 mg/L

Art. 39. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere solo desinfección: Valor de referencia Mercurio 0,002 mg/L

Art. 41. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario, para el Mercurio 0,01 mg/L.

Decreto 1575 de 2007, Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Reemplaza al Decreto 475 de 1998.

Resolución 2115 de 2007, por el cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Mercurio 0,001 mg/L.

OTRAS NORMAS RELACIONADAS

Decreto 2104 de 1983, por el cual se reglamenta los residuos sólidos.

Resolución 2309 de 1986, por el cual se reglamentan los residuos sólidos especiales.

Decreto 0283 de enero 30 de 1990, por el cual se reglamenta el almacenamiento, manejo, transporte, distribución de combustibles líquidos derivados del Petróleo y el transporte por carro tanques de Petróleo Crudo.

Decreto 1753 de 1994, por el cual se reglamenta las licencias ambientales.

Ley 253 de 1996, por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de marzo de 1989.

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

Decreto 321 de 1999, por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia para atender eventos de derrame de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas.

Decreto 838 de 2000, por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 2676 de 2000, emitido por el Presidente de la República de Colombia, por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares.

Ley 685 de 2001, por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.

Decreto 2676 de 2000, emitido por el Presidente de la República de Colombia, por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares.

Decreto 2763 de 2001, por el cual se reglamenta la gestión integral los residuos hospitalarios y similares.

Resolución 0970 del 30 de octubre de 2001, por la cual se establecen los requisitos, las condiciones y los límites máximos permisibles de emisión, bajo las cuales se debe realizar la eliminación de plásticos contaminados con plaguicidas en hornos de producción de clinker de plantas cementeras.

Decreto 1609 de 2002, por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera en automotores, en todo el territorio nacional, con el fin de minimizar los riesgos, garantizar la seguridad y proteger la vida y el ambiente.

Decreto 1713 de 2002, por el cual se reglamenta la disposición final de residuos sólidos.

Resolución 1164 de 2002, por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares, del Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Salud.

Decreto número 1443 de 2004, por el cual se reglamenta parcialmente el manejo de plaguicidas y desechos o desechos provenientes de los mismos, con el fin de prevenir y controlar la contaminación ambiental.

Resolución 0458 del 27 de mayo de 2002, por la cual se establecen los requisitos, las condiciones y los límites máximos permisibles de emisión, bajo los que se debe realizar la eliminación de tierras y/o materiales similares contaminados con plaguicidas, en hornos de producción de clinker de plantas cementeras.

Decreto 4741 de 2005, por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

Decreto 838 de 2005, por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 4126 del 2005, por el cual se modifica parcialmente el decreto 2676 de 2000, modificado por el decreto 2763 de 2001 y el decreto 1669 de 2002, sobre la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares.

Resolución 1446 del 5 de octubre de 2005, por la cual se modifica parcialmente la Resolución 415 del 13 de marzo de 1998, que establece los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma.

Resolución 694 de 2006, por la cual se adopta el procedimiento para la aceptación de laboratorios ambientales que realizan caracterización de residuos peligrosos.

Resolución 1402 de 2006, por la cual se desarrolla parcialmente el decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, en materia de residuos o desechos peligrosos.

Decreto 2570 de 2006, por el cual se adiciona el Decreto 1600 de 1994 y se dictan otras disposiciones.

Resolución 0043 de 2007, por la cual se establecen los estándares generales para el acopio de datos, procesamiento, transmisión y difusión de información para el Registro de Generadores de Residuos Peligrosos.

Resolución 0062 de 2007, por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos peligrosos en el país.

Resolución 693 de 2007, por la cual se establecen criterios y requisitos que deben ser considerados para los Planes de Gestión de Devolución de Productos Postconsumo de Plaguicidas.

Resolución 1362 de 2007, la cual establece los requisitos y el procedimiento para el registro de generadores de residuos o Desechos peligrosos.

Resolución 909 de 2008, para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por Fuentes Fijas.

Ley 1382 de 2010 mediante la cual se modifica la Ley 685 de 2001.

IMPUESTOS Y EXENCIONES EN CUANTO A RESIDUOS PELIGROSOS

Ley 788 de 2002, introduce modificaciones al Estatuto Tributario, entre ellas dos incentivos para proyectos de reducción de gases de efecto invernadero. Se puede articular con otras exenciones tributarias asociadas al componente de mejoramiento ambiental (Ley 424 de 1998, por la cual se ordena el seguimiento a los convenios internacionales suscritos por Colombia y la Ley 6 de 1992 por la que se expiden normas en materia tributaria, se otorgan facultades para emitir títulos de deuda pública interna, se dispone un ajuste de pensiones del sector público nacional)

Decreto 3172 de 2003 sobre inversiones en control del medio ambiental, siempre y cuando las inversiones correspondan al plan de desarrollo de planes y políticas ambientales nacionales previstas en el Plan Nacional de desarrollo y/o formulados por el Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial o estén incluidos en la implementación de planes ambientales regionales (incluidos, bienes y equipos).

Resolución 0136 de 2004 en la cual se explica el procedimiento para solicitar certificación de las autoridades ambientales.

GUÍAS MINERO AMBIENTAL

Estas guías, realizadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Ministerio de Minas y Energía, buscan mejorar las prácticas ambientales del sector minero acorde a lo estipulado en la Ley 685 de 2001. Su creación e implementación se estipula en el Código de Minas.

CONVENIOS INTERNACIONALES

Los acuerdos internacionales que regulan la gestión ambiental de los productos químicos durante su ciclo de vida, en especial de los desechos peligrosos, y a los cuales está suscrita Colombia son:

Convenio de Basilea

Busca controlar los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Fue aprobado en 1989 en respuesta a las preocupaciones que suscitaba la movilización de los desechos peligrosos, desde los países industrializados hasta los países en desarrollo, los cuales no tienen capacidad para su disposición y/o almacenamiento. Colombia ratificó este convenio mediante la Ley 253 de 1996.

Convenio de Rotterdam

El objetivo de este convenio es promover la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de los países, en el ámbito del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos, a fin de proteger la salud humana y el ambiente de posibles daños y contribuir a su utilización adecuada. Este convenio está en proceso de ratificación por parte de Colombia.

Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a nivel internacional SAICM

Es una declaración de alto nivel que reafirma el compromiso expresado por la Cumbre Mundial, en su Plan de Aplicación de Johannesburgo, sobre el Desarrollo Sostenible. Busca minimizar los efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente, derivados de la producción y utilización de productos químicos.

Comité Intergubernamental de Negociación sobre mercurio

Este comité se propuso en la sesión N° 25, año 2009, del Consejo de Administración del PNUMA (Programas de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) para que se encargue de elaborar un instrumento jurídicamente vinculante sobre el mercurio que entraría en vigencia en el año 2013. Actualmente se está discutiendo la estructura y contenido del instrumento.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del Inventario de Emisiones de Mercurio, se ha aplicado la metodología definida en el Instrumental para la Identificación y Cuantificación de liberaciones de Mercurio elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Adicionalmente la Universidad de Antioquia, contratada para elaborar el inventario, hizo algunos ajustes con el fin de poder adquirir y sociabilizar la información necesaria.

CONFORMACIÓN DE GRUPOS Y COORDINACIÓN DE TRABAJO

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), realizó un contrato con la Universidad de Antioquia, mediante el cual se definían los términos para la elaboración de este inventario. Posterior a la firma del contrato se estableció la sede de trabajo en las instalaciones del Grupo de Investigación Diagnóstico y Control de la Contaminación (GDCON) ubicadas en la ciudad de Medellín, Antioquia.

El grupo de trabajo en Medellín fue coordinado por Gustavo Peñuela y estuvo integrado por:

Nombre	Tema desarrollado
Lisys M. León	Producción y uso de combustibles/fuentes de energía
Juan Carlos Arango	Producción de metales y metales reciclados
Mauricio Ríos Diana Arroyave	Producción de materias primas y productos químicos
Daniel León Claudio Jiménez	Procesos y producción de productos de consumo con uso intencional de mercurio; uso y disposición de productos y sustancias con contenido de mercurio
Luz Dary Arboleda	Disposición de residuos rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales
Mónica Jaramillo Gallego	Incineración de residuos, hornos crematorios y cementerios

Por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se contó inicialmente con la coordinación de Elías Pinto, Coordinador del Grupo de Minería de la Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible y a partir del 15 de octubre del 2010, fue la geóloga Ana María Rojas, contratista del Grupo de Minería - tema de mercurio, quien realizó las evaluaciones de los dos últimos informes.

Para los fines de coordinación se realizaron reuniones en Bogotá, en las instalaciones del Ministerio y en Medellín, en la sede de trabajo de GDCON. En las primeras reuniones se contó con la participación de todo el grupo de trabajo ya que estas tenían como objeto definir las directrices de trabajo. En las últimas reuniones se hicieron los ajustes de contenido y por ello sólo se contó con la presencia de Ana María Rojas, Gustavo Peñuela, Daniel León y Mónica Jaramillo.

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El proceso de adquisición de información se hizo mediante consulta directa a los diferentes sectores productivos, a entidades públicas y privadas que tuvieran competencia con el tema, a páginas de internet especializadas y a los catálogos de bibliotecas.

Primaria

Esta información corresponde a los datos entregados por las empresas de los diferentes sectores productivos y de servicios, teniendo en cuenta el listado de categorías del instrumental PNUMA (2010). La solicitud de información a las 166 empresas contactadas se realizó vía telefónica y correo electrónico. La solicitud de información se hizo a 166 empresas de todo el país, de las cuales 46 aportaron información útil o parcialmente útil.

Secundaria

La información secundaria se extrajo de las bases de datos de los Ministerios, el Instituto Colombiano del petróleo [24], la Agencia Nacional de Hidrocarburos [25], la Federación Nacional de Comerciantes [26], la Unidad de Planeación Minero Energética, la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), INGEOMINAS y diferentes instituciones académicas, se recopiló información secundaria.

IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CATEGORÍAS

La identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio para las diferentes categorías se hizo con base en la matriz de entradas y liberaciones del instrumental del PNUMA, en la cual se detallan los cálculos a realizar; los valores internacionales de los factores de entrada y salida de mercurio para cada categoría; las vías de liberación y sus respectivos factores de distribución que varían dependiendo del actividad industrial y del medio (aire, agua, suelo, productos, residuos generales y tratamiento o disposición específica) en el cual se libere.

Los factores de entrada y distribución se calculan a partir de los balances de masa realizados en estudios e investigaciones de mercurio a nivel mundial, cuyos valores pueden diferir de la realidad nacional, por lo que los resultados obtenidos en este documento constituyen una primera aproximación que debe afinarse en la medida que se vaya obteniendo información primaria.

El instrumental sugiere dos niveles de cuantificación de mercurio: el **nivel 1** que tiene una metodología simplificada y estandarizada, en la cual los resultados obtenidos son valores promedio sin intervalo de incertidumbre y el **nivel 2** cuya cuantificación es más detallada y discriminada. Ambos niveles cuentan con plantillas de cálculo en Excel, en las cuales se discriminan las categorías y sub-categorías y los valores por defecto para los factores de entrada y de salida. Para la elaboración de este inventario se uso el nivel 1 debido a los vacíos de información encontrados (capítulo vacíos de información).

La cuantificación de la entrada y las liberaciones de mercurio se realizó de la siguiente manera:

Entrada estimada = Tasa actividad (Ton/año) * Factor de entrada (Kg Hg/Ton)

Liberaciones = Entrada estimada de mercurio (Kg Hg) * Factor de distribución a las diferentes matrices (suelo, aire, agua, productos; residuos generales y tratamiento o disposición específica).

Toma de muestras y análisis

Se realizaron análisis de mercurio a muestras líquidas y sólidas de materia prima, producto terminado y residuos (Anexo F), de diferentes sectores productivos y de servicios.

El muestreo realizado es de tipo puntual lo que implica que los resultados obtenidos deben tomarse con precaución ya que no pueden extrapolarse al nivel nacional. Sin embargo, sirven como una primera línea base local para algunos sectores industriales del país y complementan la información primaria y secundaria colectada.

Las muestras de mercurio fueron analizadas en el laboratorio del Grupo GDCON de la Universidad de Antioquia, utilizando el método de Espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío. Este laboratorio fue inicialmente acreditado por el IDEAM mediante la resolución N° 0219 del 20 de septiembre de 2005 y en el año 2008 le renovaron la acreditación, hasta el 03 de octubre del 2011, mediante resolución N° 0339 del 1 de octubre [27].

Socialización de los resultados del inventario

Para la socialización de los resultados se realizaron talleres en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga y Cartagena, a los cuales asistieron los diferentes sectores productivos y de servicios. (Anexo E).

Propuesta de plan de acción

A partir de los resultados obtenidos se propone un plan de acción para reducir, eliminar, prevenir y controlar la contaminación por mercurio en Colombia. Este plan incluye cinco estrategias: fortalecimiento interinstitucional, vigilancia y control, concientización, educación y comunicación, mejoramiento técnico y competitivo, y gestión del conocimiento. Cada estrategia consta de líneas de acción, indicadores y responsables, estos últimos establecidos con el fin de garantizar la continuidad de los procesos y acciones e integrar esfuerzos institucionales.

CUANTIFICACIÓN DE ENTRADAS Y LIBERACIONES DE MERCURIO

Para la elaboración de un inventario normalizado de fuentes de mercurio se requiere identificar las principales fuentes, las principales rutas de liberación para cada categoría y los procesos o subcategorías existentes en el país. Para el caso colombiano se han tomado las fuentes y matrices contempladas en el Instrumental del PNUMA [28].

Los datos de las entradas y liberaciones presentadas en este capítulo permiten conocer las fuentes que mayor cantidad de mercurio liberan al ambiente y por lo tanto ayudan a priorizar la toma de decisiones. Así mismo, sirve como una primera aproximación al diagnóstico de la situación nacional del mercurio en el país y como una herramienta de monitoreo ya que su actualización periódica muestra la efectividad de las gestiones implementadas frente al tema de la reducción de mercurio, los avances de las metas nacionales establecidas y el cumplimiento o no de los compromisos internacionales.

IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE LIBERACIÓN DE MERCURIO

Se pudo identificar que en Colombia no se encuentra la categoría de “Producción de productos con contenido de mercurio” y que las categorías de mayor impacto, por ser aquellas cuyas subcategorías aplican en su totalidad son la producción de combustibles, Incineración de residuos, disposición de residuos / rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales y crematorios y cementerios.

A continuación (Tabla 1) se listan las principales categorías de fuentes, con sus respectivas categorías y subcategorías indicadas en el instrumental del PNUMA y se indica la presencia o ausencia de cada una de ellas en el país.

Tabla 1. Identificación de fuentes de liberación de mercurio

CATEGORÍAS	SUB-CATEGORÍAS	PRESENCIA EN COLOMBIA
<u>Consumo de energía</u>	Combustión de carbón en grandes centrales de energía	S
	Otros usos del carbón	N
	Combustión y uso de coque de petróleo y crudos pesados	N
	Combustión y uso de diesel, petróleo y queroseno	S
	Biomasa quemada para producción de energía y calor	N
	Carbón de leña	?
<u>Producción de combustibles</u>	Extracción de petróleo	S
	Refinación de petróleo	S
	Extracción y procesamiento de gas natural	S
<u>Producción primaria de metales</u>	Extracción primaria y procesamiento de mercurio	N
	Producción de zinc desde concentrados	N
	Producción de cobre a partir de concentrados	N
	Producción de plomo desde concentrados	S
	Extracción de oro mediante procesos distintos de la amalgamación de mercurio	S
	Producción de aluminio o alúmina desde la bauxita	S
	Producción Primaria de metales ferrosos (hierro, acero)	S

CATEGORÍAS	SUB-CATEGORÍAS	PRESENCIA EN COLOMBIA
	Extracción de oro mediante amalgamación con mercurio sin uso de retortas	S
	Extracción de oro mediante amalgamación con mercurio con uso de retortas	S
<u>Producción de otros materiales</u>	Producción de cemento	S
	Producción de pulpa y papel	S
<u>Producción de químicos</u>	Producción de Cloroálcali con celdas de mercurio	S
	Producción monómeros de cloruro de vinilo usando tecnología con mercurio	?
	Producción de acetaldehído usando mercurio como catalizador	?
<u>Producción de productos con contenido de mercurio</u>	Termómetros (médicos, aire, laboratorio, industriales)	N
	Interruptores eléctricos y relé con uso intencional de mercurio	?
	Fuentes de luz con mercurio (fluorescentes, compactas, otros)	N
	Baterías con mercurio	N
	Manómetros y medidores de mercurio	N
	Biocidas y pesticidas con mercurio	N
	Pinturas con mercurio	N
	Cremas y jabones para el cuidado de la piel con mercurio	N
<u>Uso y disposición de productos con contenido de mercurio</u>	Empastes dentales de amalgama	S
	Termómetros	S
	Interruptores eléctricos	S
	Fuentes de luz con mercurio	S
	Baterías con mercurio	?
	Poliuretano (PU, PUR) producido con catálisis de mercurio	N
	Pinturas con mercurio como preservante	N
	Cuidado de la piel cremas y jabones con productos químicos de mercurio	?
	Tensiómetros médicos	S
	Otros manómetros y medidores de mercurio	S
	Laboratorios químicos	S
	Otros laboratorios y equipos médicos con mercurio	S
<u>Producción de metales reciclados</u>	Producción de mercurio reciclado ("producción secundaria")	S
	Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)	S
<u>Incineración de residuos</u>	Incineración de residuos municipales/generales	S
	Incineración de residuos peligrosos	S
	Incineración de residuos médicos	?
	Incineración de lodos cloacales	S
	Quema de residuos a cielo abierto(en rellenos sanitarios informales)	S
<u>Disposición de residuos/ rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales</u>	Rellenos sanitarios/depósitos controlados	S
	Vertederos informales de residuos	S
	Sistemas de tratamiento de aguas residuales	S
<u>Crematorios y cementerios</u>	Crematorios	S
	Cementerios	S

NOTA. Las sub-categorías cuya presencia en el país se marca con un signo de interrogación, corresponden a aquellas que presentan vacíos de información y, aún sabiendo que están presentes, no fue posible cuantificarlas.

Adicional a lo anterior existen otras fuentes de liberación de mercurio que no han sido cuantificadas en el nivel 1 del instrumental del PNUMA, pero que es importante tener en cuenta para futuros trabajos relacionados con la actualización de este documento inventario. La presencia (S) / ausencia (N), y Las categorías cuya presencia en el país se marca con un signo de interrogación (?), corresponden a aquellas que presentan vacíos de información; estas categorías en el país se muestra a continuación:

Tabla 2. Fuentes adicionales de mercurio no cuantificadas en el nivel 1 del instrumental

CATEGORÍA DE FUENTE	PRESENCIA EN EL PAÍS
Combustión de pizarra bituminosa	N
Combustión de turba	N
Producción de energía geotérmica	N
Producción de otros metales reciclados	S
Producción de cal	S
Producción de agregados livianos (piezas de barro quemado para construcción)	S
Cloruro e hidróxido de sodio producido a través de la tecnología de celda-mercurio	S
Producción de poliuretano con catalizador de mercurio	?
Recubrimiento de semillas con químicos de mercurio	N
Semi-conductores con detección infrarroja	S
Tubos Bougie y tubos Cantor (médicos)	S
Usos educacionales	S
Giroscopios con mercurio	S
Bombas de vacío con mercurio	S
Mercurio usado en rituales religiosos (amuletos y otros usos)	N
Mercurio usado en medicinas tradicionales (ayurvédica y otros) y en medicina homeopática	N
Uso de mercurio como refrigerante para ciertos sistemas de enfriamiento	N
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	S
Laciones bronceadoras	N
Pigmentos	N
Productos para el oscurecimiento y grabado de acero	S
Ciertos tipos de papel de color para fotografía	S
Suavizadores de arranque para rifles	S
Explosivos (por ejemplo fulminato de mercurio)	S
Fuegos artificiales	S
Juguetes	N

RESUMEN DE LAS ENTRADAS Y LIBERACIONES DE MERCURIO

Las entradas de mercurio a la sociedad (Tabla 3.) fueron calculadas, para cada subcategoría, multiplicando la Tasa actividad (t/año) reportada en Colombia por el Factor de entrada (Kg Hg/t) dado por el PNUMA.

Para evitar la duplicación de información en la cuantificación de entradas y liberaciones de mercurio se han realizado los siguientes ajustes [28]:

- En las categoría de incineración de desechos y deposición de desechos/relleno sanitario y tratamiento de aguas residuales solamente se tuvo en cuenta el 10% de la entrada total de mercurio ya que este porcentaje representa lo que no se ha cuantificado de manera individual en las respectivas subcategorías.
- En la sumatoria de las liberaciones se ha excluido el aporte de mercurio al suelo proveniente de la subcategoría de vertederos informales, ya que la cantidad de mercurio que aportan los diferentes desechos fue cuantificada de manera individual en cada subcategoría.
- 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 de los totales ya que 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.

Entradas

Mediante la cuantificación de entradas de mercurio se pudo establecer que las principales subcategorías son: la extracción de oro (194,960 kg Hg/año); la industria de cloro álcali (50.917 Kg Hg/año); la producción de monómeros de vinilo (46.680 Kg Hg/año) y termómetros (26.593 kg Hg/año).

Tabla 3. Cuantificación de entradas de mercurio por categorías

CATEGORÍA SUBCATEGORÍA DE FUENTE	PRESENCIA EN COLOMBIA	TASA DE ACTIVIDAD	UNIDAD DE LA TASA DE ACTIVIDAD	ENTRADA ESTIMADA (Kg Hg/año)
Consumo de energía				
Combustión de carbón en plantas de energía grandes	S	1.822.500,00	t carbón quemado/año	492,08
Otros usos del carbón	S	1.822.500,00	t carbón usado/año	492,08
Combustión/uso de coque de petróleo y aceite pesado	?	0,00	t aceite producido quemado/año	?
Combustión/uso de diesel, gasóleo, petróleo, kerosene	?	0,00	t aceite producido quemado/año	?
Combustión/uso de gas natural, primas o pre-limpieza	?	0,00	Nm³ gas/año	?
Combustión/uso de gas natural, gasoducto (calidad de los consumidores)	?	0,00	Nm³ gas/año	?
Plantas de quema de biomasa y producción de calor	S	9.436.000,00	t biomasa quemada/año (peso seco)	283,08
Combustión de carbón vegetal	?	0,00	t carbón vegetal quemado/año	?
Producción de combustibles				
Extracción petróleo crudo	S	33.063.525,00	t petróleo crudo producido/año	1.818,49
Refinamiento de petróleo	S	12.629.787,00	t aceite refinado/año	694,64
Extracción y procesamiento de gas natural	S	10.057.000.000	Nm³ gas/año	1.005,70

CATEGORÍA SUBCATEGORÍA DE FUENTE	PRESENCIA EN COLOMBIA	TASA DE ACTIVIDAD	UNIDAD DE LA TASA DE ACTIVIDAD	ENTRADA ESTIMADA (Kg Hg/año)
Producción primaria de metales				
Extracción de mercurio (primario) y procesamiento inicial	N	0,00	t de mercurio producido/año	-
Producción de zinc proveniente de concentrados	N	0,00	t de concentrado usado/año	-
Producción de cobre proveniente de concentrados	N	0,00	t de concentrado usado/año	-
Producción de plomo proveniente de concentrados	N	0,00	t de concentrado usado/año	-
Extracción de oro por otros métodos que no sea la amalgamación de Hg	S	2.192.000,00	t mineral de oro usado/año	120.560,00
Producción de alúmina proveniente de la bauxita (producción de aluminio)	N	0,00	t bauxita procesada/año	-
Producción primaria de metales ferrosos (hierro, producción de acero)	S	280.772,00	t arrabio producido/año	14,04
Extracción de oro con amalgamación de mercurio - sin uso de retorta	S	37.200,00	kg oro producido/año	74.400,00
Extracción de oro con amalgamación de mercurio - con uso de retortas	?	0,00	kg oro producido/año	?
Otros materiales de producción				
Producción de cemento	S	16.792.000,00	t cemento producido/año	4.617,80
Producción de pulpa y papel	S	1.014.000,00	t biomasa usada en la producción/año	30,42
Producción de químicos				
Producción de cloro álcali con celdas de mercurio	S	242.464,00	t Cl ² producido/año	50.917,44
Producción de VCM con catalizador de mercurio	S	389.000,00	t VCM producido/año	46.680,00
Producción de acetaldehído con catalizador de mercurio	?	0,00	t acetaldehído producido/año	?
Producción de productos con contenido de mercurio				
Termómetros de Hg (médico, atmosféricos, de laboratorios, industrial, etc.)	N	0,00	kg mercurio usado para producción/año	-
Interruptores y amplificadores eléctricos con mercurio	N	0,00	kg mercurio usado para producción/año	-
Fuentes de luz con mercurio (fluorescente, compacta, otros: ver guía)	?	0,00	kg mercurio usado para producción/año	?
Baterías con mercurio	N	0,00	kg mercurio usado para producción/año	-
Manómetros y medidores de mercurio	N	0,00	kg mercurio usado para producción/año	-
Biocidas y pesticidas con mercurio	N	0,00	kg mercurio usado para producción/año	-
Pinturas con mercurio	N	0,00	kg mercurio usado para producción/año	-
Cremas y jabones aclaradoras de piel con químicos de mercurio	N	0,00	kg mercurio usado para producción/año	-
Uso y disposición de productos con contenido de mercurio				

CATEGORÍA SUBCATEGORÍA DE FUENTE	PRESENCIA EN COLOMBIA	TASA DE ACTIVIDAD	UNIDAD DE LA TASA DE ACTIVIDAD	ENTRADA ESTIMADA (Kg Hg/año)
Amalgama dental para rellenos (rellenos de "plata")	S	44.977.758,00	número de habitantes	6.746,66
Termómetros	S	2.277.846,00	artículos vendidos/año	26.593,04
Interruptores eléctrico y relés con mercurio	S	44.977.758,00	número de habitantes	6.296,89
Fuentes de luz con mercurio	S	96.303.735,00	artículos vendidos/año	2.194,54
Baterías con mercurio	S	1,60	t baterías vendidas/año	11,20
Poliuretano (PU, PUR) producido con catalizador de mercurio	?	44.977.758,00	número de habitantes	?
Pinturas con preservantes de mercurio	N	0,00	t pintura vendida/año	-
Cremas y jabones que contienen químicos de mercurio para aclarar la piel	N	0,00	t cremas o jabones/año	-
Manómetro para medir presión arterial (esfigmomanómetro de mercurio)	?	0,00	artículos vendidos/año	?
Manómetro para medir presión arterial (esfigmomanómetro de mercurio)	S	44.977.758,00	número de habitantes	224,89
Químicos de laboratorio	S	44.977.758,00	número de habitantes	449,78
Otros equipos médicos y de laboratorio con mercurio	S	44.977.758,00	número de habitantes	1.799,11
Producción de reciclado de metales				
Producción de mercurio reciclado ("producción secundaria")	N	0,00	kg mercurio producido/año	-
Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)	S	278,00	número de vehículos reciclado/año	0,31
Incineración de desechos				
Incineración de desechos municipal/general	N	0,00	t desechos incinerados/año	-
Incineración de desechos peligrosos	S	14.020,00	t desechos incinerados/año	336,48
Incineración de desechos médicos	S	7.344,00	t desechos incinerados/año	176,26
Incineración de lodos cloacales	?	0,00	t desechos incinerados/año	?
Quema de desechos a cielo abierto (en rellenos sanitarios e informalmente)	S	4.749,00	t desechos quemados/año	23,75
Deposición de desechos/relleno sanitario y tratamiento de aguas residuales				
Rellenos sanitarios controlados/depositos *1	S	10.095.119,00	t desechos depositados en relleno sanitario/año	50.475,60
Vertederos informales de desechos generales *1*2	S	828.028,00	t desechos vertidos/año	4.140,14
Sistema de aguas residuales/tratamiento *3	S	608.417.741,00	m³ aguas residuales/año	3.194,19
Crematorios y cementerios				
Crematoria	S	33.000,00	cuerpos enterrados/año	82,50
Cementerios	S	151.000,00	cuerpos enterrados/año	377,50
TOTAL DE ENTRADAS CUANTIFICADAS (Kg Hg/año)				352.300,00

Nota: (S) Presencia, (N) ausencia y (?) las categorías que presentan vacíos de información.

Liberaciones al ambiente

En el año 2009, se liberaron 345.570 Kg de Hg, de los cuales 151.650 kg fueron al suelo; 74.420 Kg al aire; 45.400 se liberaron durante el tratamiento o disposición; 31.260 Kg al agua; 28.190 Kg fueron liberados en los subproductos o impurezas y 14.650 Kg en residuos generales. Lo anterior muestra que las matrices ambientales más afectadas son el suelo y el aire y que dentro del proceso productivo la mayor liberación se produce durante el tratamiento o disposición de los residuos. En la Tabla 4. se compilan los datos de liberaciones de mercurio, a las diferentes matrices propuestas por el instrumental:

Tabla 4. Cuantificación de liberación de mercurio por categorías

CATEGORÍA DE FUENTE	LIBERACIONES DE MERCURIO ESTIMADAS (Kg Hg/AÑO)					
	AIRE	AGUA	SUELO	SUB-PRODUCTOS E IMPUREZAS	DESECHOS EN GENERAL	TRATAMIENTO DE DESECHOS /DISPOSICIÓN
CONSUMO DE ENERGÍA						
Combustión de carbón en plantas de energía grandes	442,87	0,00	0,00	0,00	49,21	0,00
Otros usos del carbón	442,87	0,00	0,00	0,00	49,21	0,00
Combustión/uso de coque de petróleo y aceite pesado	?	?	?	?	?	?
Combustión/uso de diesel, gasóleo, petróleo, kerosene	?	?	?	?	?	?
Combustión/uso de gas natural, primas o pre-limpieza	?	?	?	?	?	?
Combustión/uso de gas natural, gasoducto (calidad de los consumidores)	?	?	?	?	?	?
Plantas de quema de biomasa y producción de calor	283,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Combustión de carbón vegetal	?	?	?	?	?	?
PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE						
Extracción petróleo crudo	0,00	363,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Refinamiento de petróleo	173,66	6,95	0,00	0,00	104,20	0,00
Extracción y procesamiento de gas natural	150,86	201,14	0,00	301,71	352,00	0,00
PRODUCCIÓN PRIMARIA DE METALES						
Extracción de mercurio (primario) y procesamiento inicial	-	-	-	-	-	-
Producción de zinc proveniente de concentrados	-	-	-	-	-	-
Producción de cobre proveniente de concentrados	-	-	-	-	-	-
Producción de plomo proveniente de concentrados	-	-	-	-	-	-
Extracción de oro por otros métodos que no sea la amalgamación de Hg	4.822,40	2.411,20	108.504,00	4.822,40	0,00	0,00
Producción de alúmina proveniente de la bauxita (producción de aluminio)	-	-	-	-	-	-
Producción primaria de metales ferrosos (hierro, producción de acero)	13,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70
Extracción de oro con amalgamación de mercurio - sin uso de retorta	44.640,00	14.880,00	14.880,00	0,00	0,00	0,00
Extracción de oro con amalgamación de	?	?	?	?	?	?

CATEGORÍA DE FUENTE	LIBERACIONES DE MERCURIO ESTIMADAS (Kg Hg/año)					
	AIRE	AGUA	SUELO	SUB-PRODUCTOS E IMPUREZAS	DESECHOS EN GENERAL	TRATAMIENTO DE DESECHOS /DISPOSICIÓN
mercurio - con uso de retortas						
OTROS MATERIALES DE PRODUCCIÓN						
Producción de cemento	2.770,68	0,00	0,00	923,56	923,56	0,00
Producción de pulpa y papel	30,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PRODUCCIÓN DE QUÍMICOS						
Producción de cloroálcali con celdas de mercurio	10.183,49	1.018,35	19.348,63	5.091,74	0,00	15.275,23
Producción de VCM con catalizador de mercurio	933,60	933,60	0,00	16.804,80	0,00	28.008,00
Producción de acetaldehído con catalizador de mercurio	?	?	?	?	?	?
PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS CON CONTENIDO DE MERCURIO						
Termómetros de Hg (médico, atmosféricos, de laboratorios, industrial, etc.)	-	-	-	-	-	-
Interruptores y amplificadores eléctricos con mercurio	-	-	-	-	-	-
Fuentes de luz con mercurio (fluorescente, compacta, otros: ver guía)	?	?	?	?	?	?
Baterías con mercurio	-	-	-	-	-	-
Manómetros y medidores de mercurio	-	-	-	-	-	-
Biocidas y pesticidas con mercurio	-	-	-	-	-	-
Pinturas con mercurio	-	-	-	-	-	-
Cremas y jabones aclaradoras de piel con químicos de mercurio	-	-	-	-	-	-
USO Y DISPOSICIÓN DE PRODUCTOS CON CONTENIDO DE MERCURIO						
Amalgama dental para rellenos (rellenos de "plata")	134,93	2.239,89	0,00	242,88	1.295,36	1.295,36
Termómetros	5.318,61	7.977,91	5.318,61	0,00	7.977,91	0,00
Interruptores eléctrico y relés con mercurio	1.889,07	0,00	2.518,75	0,00	1.889,07	0,00
Fuentes de luz con mercurio	658,36	0,00	658,36	0,00	877,82	0,00
Baterías con mercurio	2,80	0,00	2,80	0,00	5,60	0,00
Poliuretano (PU, PUR) producido con catalizador de mercurio	?	?	?	?	?	?
Pinturas con preservantes de mercurio	-	-	-	-	-	-
Cremas y jabones que contienen químicos de mercurio para aclarar la piel	-	-	-	-	-	-
Manómetro para medir presión arterial (esfigmomanómetro de mercurio)	?	?	?	?	?	?
Manómetro para medir presión arterial (esfigmomanómetro de mercurio)	44,98	67,47	44,98	0,00	67,47	0,00
Químicos de laboratorio	0,00	148,43	0,00	0,00	148,43	152,92
Otros equipos médicos y de laboratorio con mercurio	0,00	593,71	0,00	0,00	593,71	611,70
PRODUCCIÓN DE RECICLADO DE METALES						

CATEGORÍA DE FUENTE	LIBERACIONES DE MERCURIO ESTIMADAS (Kg Hg/año)					
	AIRE	AGUA	SUELO	SUB-PRODUCTOS E IMPUREZAS	DESECHOS EN GENERAL	TRATAMIENTO DE DESECHOS /DISPOSICIÓN
Producción de mercurio reciclado ("producción secundaria")	-	-	-	-	-	-
Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00
INCINERACIÓN DE DESECHOS						
Incineración de desechos municipal/general	-	-	-	-	-	-
Incineración de desechos peligrosos	302,83	0,00	0,00	0,00	0,00	33,65
Incineración de desechos médicos	158,63	0,00	0,00	0,00	0,00	17,63
Incineración de lodos cloacales	?	?	?	?	?	?
Quema de desechos a cielo abierto (en rellenos sanitarios e informalmente)	23,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DEPOSICIÓN DE DESECHOS/RELLENO SANITARIO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES						
Rellenos sanitario controlados/depósitos	504,76	5,05	0,00	-	-	-
Vertederos informales de desechos generales	414,01	414,01	3.312,11	-	-	-
Residuos procedentes de sistemas de agua /tratamiento	0,00	2.874,77	0,00	0,00	319,42	0,00
CREMATORIOS Y CEMENTERIOS						
Crematoria	82,50	0,00	0,00	-	0,00	0,00
Cementerios	0,00	0,00	377,50	-	0,00	0,00
TOTAL DE LIBERACIONES CUANTIFICADAS	74.420,00	31.260,00	151.650,00	28.190,00	14.650,00	45.400,00

Nota: (S) Presencia, (N) ausencia y (?) las categorías que presentan vacíos de información.

CONSUMO DE ENERGÍA

Esta categoría incluye como fuentes de liberación de mercurio, el uso de combustibles para la generación de energía y la producción de combustibles fósiles. Dentro del primer grupo se incluyen todos los derivados del petróleo y todos los tipos de carbón y madera, los cuales son empleados a nivel industrial y doméstico para la generación de energía. En el segundo grupo están los procesos de extracción y refinación del crudo y el gas natural en, donde se presentan las mayores liberaciones del mercurio.

COMBUSTIÓN DE CARBÓN EN GRANDES CENTRALES DE ENERGÍA

En Colombia, no se dispone de datos específicos sobre la concentración de mercurio (Hg) en el carbón usado para la generación de energía o calor, salvo en la Cuenca de Cesar-Ranchería [29], cuya producción, exportada en su totalidad, corresponde a más del 90% del total nacional producido. En cuanto al carbón proveniente de las cuencas de Boyacá-Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca, Cauca, Santander, Norte de Santander, Córdoba, que suministran todo el carbón de consumo interno, no se tienen datos.

El consumo nacional de carbón [30-32] fue calculado con base en datos oficiales; sin embargo, no se pudo discriminar el porcentaje consumido en cada sector productivo, por lo que el consumo se dividió en partes iguales entre las subcategorías grandes centrales de termo generación y otros usos de carbón, teniendo en cuenta que el Instrumental reporta factores de entrada y distribución iguales para ambas. En la Tabla 5. se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5. Cuantificación de mercurio en la combustión de carbón en grandes plantas termoeléctricas

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t carbón quemado/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg Hg /año)
	1.822.500	0,00027	492,075
Liberación	Entrada estimada (Kg Hg /año)	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	492,075	0,9	442,867
Desechos en general		0,1	49,208
		Liberaciones totales	492,075

OTROS USOS DEL CARBÓN

Esta sub-categoría incluye la combustión de carbón en pequeñas instalaciones, por lo general, calderas con capacidad térmica inferior a 300MW utilizadas en los diversos sectores industriales, en procesos metalúrgicos para calefacción y cocción de alimentos en los hogares.

Entre las empresas que usan carbón en sus procesos productivos se destacan las del sector ladrillero; productos cerámicos y de vidrio; sector cementero; agroindustria de la caña; industria del papel; textil y metalúrgica.

Para esta categoría, no fue posible obtener datos de fuentes primarias que permitieran cuantificar la cantidad de carbón consumido por este grupo de industrias, y por esto, se decidió dividir el consumo de carbón nacional en partes iguales entre las subcategorías de grandes centrales de termo generación y otros usos del carbón. Los resultados se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Cuantificación de mercurio en otros usos de carbón

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t carbón usado/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg Hg /año)
	1.822.500	0,00027	492,075
Liberación	Entrada estimada (Kg Hg /año)	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	492,075	0,9	442,87
Desechos en genera		0,1	49,21
		Liberaciones totales	492,08

COMBUSTIÓN Y USO DE COQUE DE PETRÓLEO Y CRUDOS PESADOS

El coque de petróleo es el producto que resulta de la refinación del petróleo y es utilizado como combustible en algunas industrias.

Aunque en Colombia no fue posible determinar si se utiliza el coque de petróleo, se sabe que varias empresas usan el crudo pesado como combustible, aunque no se pudo determinar la tasa de actividad debido a la carencia de información primaria en las diferentes industrias nacionales.

COMBUSTIÓN Y USO DE DIESEL, GASOLINA, PETRÓLEO Y QUEROSENO

Se sabe que los combustibles contemplados en esta categoría son ampliamente usados en Colombia; sin embargo, no fue posible compilar suficiente información para calcular la tasa de actividad para esta subcategoría.

BIOMASA QUEMADA PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA Y CALOR

En Colombia, los desechos de cultivos de palma, el bagazo y la madera, entre otros, son utilizados para generar energía a nivel doméstico. Sin embargo, no se encontró suficiente información primaria sobre la cantidad quemada de estos biocombustibles a nivel nacional, salvo un estudio sobre la quema de la caña molida en la industria azucarera del Valle del Cauca, y un estudio académico reporta que en un trapiche manual el rendimiento promedio es del 60% (relación del porcentaje de jugo extraído respecto al peso total de la caña), y que el 40% del peso de la caña corresponde al peso del bagazo [33]. Con base en lo anterior, se cuantificaron las liberaciones de Hg provenientes solamente del bagazo quemado en la industria azucarera (Tabla 7), No se incluyó la cantidad de bagazo quemado en otras industrias como la panelera.

Para esta categoría, la biomasa corresponde a la cantidad de bagazo quemada en el sector azucarero del Valle del Cauca, adscrito a CENICAÑA [34]. Esta es una industria a gran escala que aprovecha todo el bagazo que queda después de extraído el jugo de la caña, como biocombustible para generar energía en sus calderas.

Debido a que en el instrumental del PNUMA no existen factores de entrada para el bagazo de caña, los cálculos se realizaron con los factores de entrada dados por el PNUMA para la subcategoría madera y carbón de leña.

Tabla 7. Cuantificación de mercurio en la quema de biomasa

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t biomasa quemada/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ t)	Entrada estimada Kg de Hg/año
	9.436.000	0,03	283,08
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	283,08	1,0	283,08
Liberaciones totales			283,08

CARBÓN DE LEÑA

El carbón de leña es un combustible usado a pequeña y mediana escala en Colombia; sin embargo, no se hallaron datos oficiales que permitieran calcular la tasa de actividad para esta subcategoría.

PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES

En esta categoría se incluyen los procesos de extracción y refinación/procesamiento del petróleo y del gas natural, descritos a continuación.

EXTRACCIÓN Y REFINACIÓN DE PETRÓLEO

La extracción de crudo es el proceso mediante el cual se saca el petróleo del subsuelo hasta la superficie, mediante un pozo de perforación recubierto por una tubería especial. Una vez el crudo es extraído y transportado a las refinerías, se inicia un proceso de transformación para convertir ese crudo en otros derivados comerciables como la gasolina. En esta sub-categoría se incluye la combustión de crudo para producción de energía, calor, la elaboración de asfalto, la producción de polímeros, la síntesis de productos químicos y de lubricantes, entre otros.

El crudo contiene impurezas, dentro de las cuales hay cantidades trazas de mercurio, que son liberadas durante su combustión y que varían de un lugar de extracción a otro. Generalmente, estas impurezas son liberadas al aire; sin embargo, pueden ocurrir liberaciones a otras matrices ambientales dada la complejidad de los procesos de extracción, refinación y combustión del crudo y pese a la existencia de equipos diseñados para reducirlas.

La tasa de actividad de extracción y refinación de crudo [25] se calculó con base en datos de producción y exportación provenientes de fuentes oficiales, asumiendo que la diferencia entre lo producido y lo exportado es lo que va a las refinerías nacionales. El resultado obtenido para las liberaciones es muy diferente al de la entrada de mercurio al proceso debido, a la dificultad para medir las emisiones durante la extracción o refinación y a la falta de información primaria. Las tablas Tabla 8 y Tabla 9. muestran los cálculos para la extracción y refinación del petróleo, respectivamente.

Tabla 8. Cuantificación de mercurio en la extracción de petróleo

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t petróleo crudo producido/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/Ton)	Entrada estimada Kg de Hg/año
	33.063.525	0,000055	1.818,49
Liberación	Entrada estimada (Kg de Hg/año)	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Agua	1818,49	0,2	363,70
Liberaciones totales			363,70

Tabla 9. Cuantificación de mercurio en la refinación de petróleo

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t aceite refinado/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/Ton)	Entrada estimada Kg de Hg/año
	12.629.787	0,055	694,64
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire		0,25	173,66
Agua	694,64	0,01	6,95
Residuos generales		0,15	104,20
Liberaciones totales			284,81

EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE GAS NATURAL

El gas natural contiene trazas de impurezas de mercurio, las cuales se liberan durante los procesos de extracción, refinación y combustión, a las diferentes matrices ambientales, especialmente al aire. Igual que con el crudo, la concentración de mercurio en el gas natural depende de las características propias de la zona geológica de donde se extraiga.

Actualmente no se tiene un conocimiento preciso del destino del contenido de mercurio, lo que debe considerarse un vacío de información. Sin embargo, es importante resaltar que la mayor parte del mercurio que se encuentra en el gas natural puede removerse durante la extracción y refinación, incluyendo el proceso de remoción del sulfuro de hidrógeno [35], por lo que el gas natural, en general, puede considerarse un combustible limpio que contiene concentraciones muy bajas de mercurio.

La tasa de actividad de producción y consumo de gas natural [36] se calculó con base en fuentes oficiales de producción y exportaciones; se asume que la diferencia entre éstas permite calcular la cantidad de gas natural que va a las refinerías nacionales. Como se mencionó para el caso del petróleo, lo que puede deberse a la dificultad de cuantificar las liberaciones a través de chimeneas durante la extracción o refinación.

No se encontraron reportes de contenido de Hg en gas natural nacional, por tanto, no fue posible calcular la cantidad real de emisiones de mercurio para Colombia procedente de la extracción y refinación de este combustible. El cálculo de entrada y liberaciones de Hg se hizo con base en la tasa de actividad real y el factor de entrada reportado por el PNUMA; el cálculo se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Extracción y procesamiento de gas natural

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (Nm3 gas /año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ m3)	Entrada estimada Kg de Hg/año
	10.057.000.000	0,0000001	1005,70
Liberación	Entrada estimada (Kg de Hg/año)	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	1005,70	0,15	150,85
Agua		0,20	201,14
Subproductos e impurezas		0,30	301,71
Desechos en general		0,35	352,00
Liberaciones totales			1.005,70

PRODUCCION PRIMARIA DE METALES

En Colombia existe explotación primaria de minerales auroargentíferos (oro y plata), níquel, cobre, hierro, platino. Así mismo, se extraen cantidades menores de plomo, zinc y alúmina, sobre las cuales no fue posible conseguir información y se producen algunos concentrados de menas polimetálicas que se tratarán en el anexo C. En Colombia no existe producción primaria de mercurio.

La principal actividad de esta categoría es la minería artesanal de oro, que emplea aproximadamente 220.000 personas[5] concentradas en el Nordeste y Bajo Cauca en Antioquia; Condoto, Istmina y Lloró en el Departamento del Chocó; La Llanada y Sotomayor en Nariño; Vetas y California en Santander y en el Sur de Bolívar, Bolívar. En estas zonas el 90% de la población total, aproximadamente, depende directa o indirectamente de la minería de oro. Por ejemplo, en el Bajo Cauca y Nordeste Antioqueño se han identificado aproximadamente 500 pequeñas minas entre subterráneas y aluviales, que en la mayoría de los casos no cuentan con un diseño de explotación ni con tecnología adecuados [5]. Un factor crítico de suma importancia, es la ilegalidad de la actividad minera y las escasas herramientas técnicas y jurídicas para desempeñar labores legales y seguras. En el municipio de Marmato [37], la explotación minera constituye en la principal fuente de ingreso y empleo, siendo este Municipio el primer productor de oro en el Departamento de Caldas y de los más antiguos del país. Su actividad minera está conformada por 230 minas en actividad y 20 molinos de beneficio, de los cuales tres son propiedad del estado, que trabajan a menor capacidad de lo que pueden hacerlo y por tanto los rendimientos son menores [37], la minería en la mayoría de los casos se realiza de forma indiscriminada y artesanal en los cuales se utilizan sistemas obsoletos.

Las principales zonas mineras auroargentíferas, de platino, zinc y plomo, están concentradas a lo largo de las cordilleras Central y Occidental y sus respectivos valles interandinos; la minería de níquel está concentrada al sur del departamento de Córdoba; la mayor concentración y explotación de cobre está localizada en el departamento del Chocó; la minería de hierro se encuentra en el departamento de Boyacá y las formaciones bauxíticas ricas en aluminio se hallan en el Valle del Cauca y Norte de Antioquia.

EXTRACCIÓN DE ORO SIN AMALGAMACIÓN

Para realizar los cálculos de las entradas de mercurio es necesario conocer la cantidad de mena de oro procesada y la concentración promedio de mercurio en esa mena mineral y se ha calculado un factor de entrada de 55 g Hg/Ton de mena de oro procesada (PNUMA, 2010).

Hasta el momento no se tiene información referente a la cantidad exacta de menas de oro procesadas en Colombia, sólo se tienen datos confiables de la cantidad de oro producido (Tabla 11. , [38]) por lo que para poder calcular la entrada de mercurio es necesario hacer una serie de suposiciones, basados en la cantidad de oro vetiforme producido y teniendo en cuenta que es este tipo de depósito el que contiene cantidades traza de mercurio y en cuyo proceso extractivo se emplea la mayor cantidad del metal.

Tabla 11. Producción de oro en Colombia

AÑO	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Kg producidos	37.738	35.783	15.683	15.482	34.321	47.838

Nota: La fuente no diferencia la proporción de oro extraído con y sin mercurio ni la cantidad de oro aluvial y de filón. La producción está dada en kilogramos.

En cuanto a la producción de oro reportada debe tenerse en cuenta que de las diferentes zonas mineras sale oro que no es reportado a las autoridades municipales, parte de este oro es comprado por artesanos y parte es reportado en otro municipio como si hubiese sido extraído allí.

A continuación se reporta la producción de oro de las empresas más grandes del país (Tabla 12).

Tabla 12. Producción de las empresas más grandes de oro en Colombia

Empresas	2006	2007	2008	2009
FGM (Vetiforme)	1.524	1.710	1.710	1.710
Mineros Nacionales en Marmato (Vetiforme)	776	968	751	746
Mamato, Maruja y parte alta (Vetiforme)	186	186	186	186
Subtotal	2.486	2.864	2.647	2.642
Mineros S.A (Aluvial)	2.861	2.118	2.534	2.788
Total	5.347	4.982	5.181	5.430

Nota: la producción está dada en kilogramos.

Tomando como base la información suministrada por el Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO-Tabla 11. , [38]) para el año 2009 y la producción de oro vetiforme en los diferentes distritos mineros correspondiente se calculo que la producción de oro vetiforme para el año 2009 fue de 22,2 t [8].

Para conocer la cantidad de oro por tonelada de mena extraída se tomo un promedio, calculado a partir de los datos encontrados en la bibliografía: Marmato 7 g Au /Ton de mena [39], Vetas-California 7 g Au /Ton[40], la Llanada 17 g Au /Ton [41], en la Frontino Gold Mines 9 g Au /Ton [42]. El promedio obtenido fue de 10 g Au/Ton de mena mineral.

Para hallar la tasa de actividad se aplico la siguiente operación:

1 tonelada de mena → 10 gr de oro
 X toneladas de mena → 22.192.000 gr de Au

Por lo tanto,

$$\text{Tasa de actividad} = 22.192.000 \text{ g Au} / 10 \text{ g Au/t mena} = 2.192.000 \text{ t de mena}$$

Para cuantificar la entrada y las liberaciones de mercurio a las diferentes matrices se utilizaron los factores de distribución dados por el PNUMA (Tabla 13).

Tabla 13. Cuantificación de mercurio en la extracción de oro sin amalgamación

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t mena / año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	2.192.000,00	0,055	120.560,00
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire		0,04	4.822,40
Agua		0,02	2.411,20
Suelo	120.560,00	0,90	108.504,00
Subproductos e impurezas		0,04	4.822,40
Liberaciones totales			120.560,00

EXTRACCIÓN DE ORO CON AMALGAMACIÓN Y SIN USO DE RETORTA

No se encontró información sobre la cantidad de menas de oro procesadas; la cantidad total de mineros que trabajan en el oficio; la cantidad de mineros que usan retortas o la cantidad de mineral extraído de los concentrados. Sin embargo, se conocen cifras de mercurio importado; oro producido y valores puntuales de cantidades de mercurio emitido al ambiente o perdido durante el proceso de beneficio.

Para cuantificar las liberaciones de mercurio, se evaluaron los procesos de minería de oro en los que se incorporan cantidades intencionales de mercurio, a partir de lo cual se puede concluir que en Colombia no se extrae ni se recicla mercurio, salvo en aquellas industrias donde parte del consumo de mercurio proviene del reciclaje del empleado en su proceso, por lo que puede concluirse que el mercurio utilizado como materia prima o insumo es importado en su totalidad (Tabla 14, [43]). Estos datos, reportados oficialmente por la DIAN, son los utilizados para inferir la dinámica del consumo de mercurio en el mercado de la minería del oro; sin embargo, a las diferentes zonas mineras llega mercurio de forma ilegal que es difícil de cuantificar.

Tabla 14. Importación de mercurio para los años 2007 a 2009

Año/ País	Holanda	España	México	Alemania	Estados Unidos	Rusia	Reino Unido	Kyrgyzstan	Canadá	Otros	Total
2007	28,26	4,49	11,95	5,53	12,39	3,00	0,83		0,45	4,54	71,44
2008	25,36	19,04	13,33	8,63	6,91	3,11	1,38	1,28	0,06	9,94	79,04
2009	47,95	14,50	24,77	8,68	34,50		0,00			0,00	130,39

Nota: Los valores de importación están dados en toneladas.

El mercurio importado por Colombia se usa en las industrias de minería aurífera, de cloro álcali, productos químicos básicos, producción de plásticos, caucho y productos químicos para la agricultura, uso dental y análisis químicos, la Tabla 15 [29] muestra las empresas importadoras de mercurio en el año 2009 y las cantidades importadas por cada una de ellas.

Tabla 15. Empresas importadoras de mercurio metálico en el año 2009

Compañía	Ton de Hg/año
Insuminer S.A	52,96
Villa Estrada José Santiago	30,33
Distribuidora de Químicos Industriales S.A	18,29
Ferretería El Pedalista Luis Alberto Velásquez Y CIA. Limita	7,76
Productora Y Comercializadora Odontológica New Stetic S.A	6,89
Pacific Chemicals Corporation LTDA	6,17
Brinsa S.A	4,14
Baux Chemical LTDA	3,79
Merck S.A	0,05
Químicos Y Reactivos Limitada	0,0006
Elementos Químicos LTDA	0.0002
TOTAL	132,3806

Teniendo en cuenta que en el País, para el año 2009, existían grandes empresas legalmente constituidas que no utilizaban mercurio en su sistema de beneficio; o si lo empleaban, tenían la tecnología para su

recuperación. Para poder calcular la tasa de actividad para esta subcategoría, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- A la producción de oro aluvial se le resta la cantidad de mercurio utilizada por la empresa mineros S.A (Tabla 12) ya que ellos reciclan todo el mercurio. Adicional a esto se le resta un 10% que corresponde al porcentaje restante de empresas o mineros que no utilizan mercurio en su sistema de beneficio¹. Por lo tanto, la producción de oro aluvial será de 20.572 g.
- Para la producción de oro vetiforme se resta la cantidad producida por la Frontino Gold Mines y Marmato (Tabla 12) más un supuesto de 10% adicional de empresas o mineros que no utilizan mercurio en su sistema de beneficio¹. Por lo tanto, la producción de oro aluvial sería aproximadamente 16.617 g.

A continuación se presentan los cálculos de liberaciones de mercurio para esta subcategoría, tomando como base datos promedios de los estudios mencionados en párrafos anteriores y teniendo en cuenta el tipo de depósito aurífero: producción de oro en el año 2009 = 47.838 gramos [38].

Producción de oro aluvial = 25.645 g tomando como base información de los diferentes distritos mineros.

Producción de oro vetiforme = 22.193- g información de los diferentes distritos mineros.

El Instrumental PNUMA, trae por defecto un factor de entrada de 2,0 g de mercurio liberados por cada gramo de oro producido, sin uso de retortas. La producción de oro en Colombia, con el uso de mercurio podría ser del orden de 37,2 Ton sumando la cantidad de oro vetiforme y aluvial según la consideraciones anteriores. En la Tabla 13 se muestran los resultados de entrada y liberaciones de mercurio, obtenidos para esta subcategoría:

Tabla 16. Cuantificación de mercurio en la extracción de oro con amalgamación - sin uso de retorta

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (kg oro producido/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ t)	Entrada estimada Kg de Hg/año
	37.200,00	2,00	74.400,00
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	74.400,00	0,60	44.640,00
Agua		0,20	14.880,00
Suelo		0,20	14.640,00
Liberaciones totales			74.400,00

PRODUCCIÓN PRIMARIA DE METALES FERROSOS (HIERRO, PRODUCCIÓN DE ACERO)

Para esta subcategoría se tomo como tasa de actividad la producción total de hierro para el año 2009, reportada por el SIMCO (Tabla 17).

Tabla 17. Producción de hierro durante los años 2004 a 2009

AÑO	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Toneladas producidas	587.222	607.559	644.151	623.930	475.273	280.772

¹ Comunicación directa con Juan Carlos Arango, Geólogo y Magister, experto en minería.

Para la cuantificación de la entrada y liberaciones de mercurio en esta subcategoría (Tabla 18), se tomaron como referencia los valores dados por el PNUMA para la producción de acero y arrabio (Ver capítulo: definición de términos) debido a que en país no se conoce la concentración exacta de mercurio en las menas de hierro.

Tabla 18. Cuantificación de mercurio en la producción primaria de metales ferrosos

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t arrabio producido / año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	280.772	0,00005	14,04
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	14,04	0,95	13,34
Tratamiento/disposición de residuos específicos por sector		0,05	0,70
Liberaciones totales			14,04

PRODUCCIÓN DE OTROS MATERIALES

En esta categoría se incluyen la producción de cemento y la producción de pulpa, papel y cartón, ambas presentes en el país. A continuación se contextualizarán en el entorno nacional y cuantificarán ambas subcategorías.

PRODUCCIÓN DE CEMENTO

En Colombia existen cuatro empresas productoras de cemento, que de acuerdo a su volumen de producción son: Cementos Argos, Cemex Colombia, Holcim Colombia y Cementos Tequendama. En la Tabla 19 se relaciona la producción de cada una de ellas [24], cuya sumatoria para el año 2009 constituye la tasa de actividad nacional, tomada para la cuantificación de mercurio. .

Tabla 19. Producción de cemento en Colombia durante los años 2007 a 2009

EMPRESA	2007	2008	2009
Grupo Argos	9,120,000	9,120,000	10,982,000
Cemex	3,980,000	3,980,000	3,980,000
Holcim	1,500,000	1,500,000	1,500,000
Otros	30,000	330,000	330,000
Total cemento producido	14,630,000	14,930,000	16,792,000

Es importante aclarar que las materias primas (cal, carbón, petróleo, etc.) usadas para la producción de cemento, pueden contener trazas de mercurio, al igual que los residuos sólidos provenientes de otros sectores (cenizas volantes de la combustión de carbón).

Para cuantificar la entrada estimada de mercurio en la producción de cemento, se utiliza el factor de entrada sugerido por el Instrumental PNUMA que corresponde a 0.000275 y la tasa de actividad nacional equivalente a 16.792.000 t. La multiplicación de estos dos valores da una entrada estimada de 4.617,80 Kg. Así mismo, para calcular las liberaciones se utilizaron los factores del PNUMA (Tabla 20):

Tabla 20. Cuantificación de mercurio en la producción de cemento

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t cemento producido / año)	Factor de entrada PNUMA (G de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	16.792.000,00	0,000275	4.617,80
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire		0,6	2.770,68
Subproductos e impurezas	4.617,80	0,2	923,56
Desechos en general		0,2	923,56
Liberaciones totales			4.617,80

PRODUCCIÓN DE PULPA Y PAPEL

En Colombia la pulpa se produce mediante el procesamiento, químico; mecánico o una combinación de ambos, del papel reciclado; la (celulosa) y el bagazo de caña. En esta sub-subcategoría el mercurio puede estar presente en la materia prima; los combustibles empleados para la producción de energía y en algunos compuestos químicos usados en el proceso, como el hidróxido de sodio y cloro. En el proceso de manufactura de papel y pulpa se destacan las emisiones atmosféricas, por la combustión de combustibles fósiles, bagazo de caña, corteza y otros desechos de madera.

En el país las materias primas usadas para la fabricación del papel son: papel reciclado, pulpa de madera (celulosa) y pulpa de bagazo de caña, las cuales pueden ser procesadas de manera individual o combinada. Sin embargo, se tienen datos que indican una mayor utilización del papel reciclado (59%), seguido de la pulpa de madera (27%) y de la pulpa de bagazo (14%). En este inventario no se tuvo en cuenta el mercurio aportado por las dos primeras materias primas ya que no es posible determinar los contenidos de mercurio de estas, lo que si ocurre con el bagazo de caña.

Teniendo en cuenta que en los cálculos realizados no se incluye el mercurio contenido en las materias primas como la madera y el papel reciclado ni en los otros insumos utilizados en el proceso, se aclara que la liberación de mercurio calculada puede ser menor que la real.

Para cuantificar la cantidad de mercurio en la producción de pulpa y papel, se usan los factores de entrada y distribución del PNUMA (

Tabla 21. Producción de cemento).

Tabla 21. Producción de cemento

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t cemento producido/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	16.792.000,00	0,000275	4.617,80
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	30,42	1,00	30,42
	Liberaciones totales		30,42

PROCESOS Y PRODUCTOS CON USO INTENCIONAL DE MERCURIO

En este inventario se ha creado esta categoría para agrupar las categorías de producción de químicos y de productos con contenido de mercurio definidas en el instrumental del PNUMA. Las actividades industriales que utilizan mercurio intencionalmente, se incluyen las de producción de químicos; de cloro álcali y de monómeros de vinilo y entre los productos que contienen mercurio están los acumuladores; pilas y lámparas eléctricas y equipos de iluminación.

Dentro de la subcategoría de producción de productos con contenido de mercurio, se encuentran los termómetros (médicos, aire, laboratorio, industriales, etc.), switches eléctricos, fuentes de luz (fluorescentes, compactas, otras), baterías, manómetros, bombas, biocidas, pesticidas, pinturas, y cremas y jabones para aclarar la piel.

En el país, para el año 2009, solamente están presentes la fabricación de pilas representada en acumuladores y pilas eléctricas, diferentes a las de tipo botón, y la industria de lámparas fluorescentes [45]. Las demás subcategorías están constituidas por productos importados y son tratados en el capítulo 6 “Uso y disposición de productos y sustancias con contenido intencional de mercurio”.

PRODUCCIÓN DE QUÍMICOS

En la categoría de producción de químicos, el instrumental incluye las sub-categorías de producción de cloro álcali con tecnología de mercurio; la producción de monómeros de cloruro de vinilo, con cloruro mercúrico (HgCl_2) como catalizador y la producción de acetaldehídos, con sulfato mercúrico (HgSO_4) como catalizador.

En Colombia no se produce acetaldehído usando mercurio como catalizador, por lo cual esta subcategoría incluida en la producción de químicos no aplica.

Producción de cloro álcali con tecnología de mercurio

En las plantas de producción de cloroálcali con celdas de mercurio, el mercurio elemental se usa como electrodo de fluido en procesos electrolíticos para la producción de cloruro de sodio o sal de cocina (NaCl); hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH), a partir de agua salada. Este proceso, conocido como de “célula o celda de mercurio”, separa la sal; genera hidrógeno como producto derivado y libera mercurio mediante las emisiones atmosféricas; las descargas de agua; los desechos sólidos y en menor proporción, en los productos. Como parte de los intentos mundiales por eliminar estas tecnologías y procesos que utilizan mercurio, se han desarrollado tecnologías de diafragma o membranas, cuya implementación ha sido obligatoria en la Unión Europea [48, 49]. Sin embargo, en el país no se tienen datos de la utilización de estas tecnologías limpias pero tampoco se conocen datos sobre el uso de celdas de mercurio, salvo en la empresa Brinsa, la cual reportó la importación de 4,14 Ton/año de mercurio en el año 2009 [50]. Es importante aclarar que la presencia de mercurio en este sector no se debe únicamente al aporte antropogénico ya que los materiales y materias primas utilizadas, como sal, caliza o carbón, pueden contener mercurio en cantidades traza.

En esta subcategoría incluye los productos derivados del cloro y la soda, provenientes de la electrolisis de la sal, que a su vez sirven de materia prima para otros procesos industriales. Esta industria genera anualmente, en el mundo, utilidades mayores a los U\$ 7.000 millones y tiene aproximadamente 14.000 aplicaciones

conocidas [46]. En Colombia la demanda actual de sal de cocina se estima entre 800.000 y 1.000.000 de toneladas anuales, de las cuales Manaure produce alrededor de 450.000 toneladas, Cajicá 264.000, Zipaquirá y Nemocón aportan otras 12.000 toneladas, y Galerazamba y Upin alrededor de 30.000 toneladas año. La cantidad restante es importado de Perú [47]. En el caso del hidróxido de sodio (NaOH-soda caustica) se producen 40.000 Ton/año y se importan 250.000 Ton/año [31],

El mercado de los productos de la industria de cloro álcali en Colombia está controlado por tres empresas, dos de las cuales aportan el 56 y 36% [45] del total de la producción nacional. Una de esas empresas, utiliza los derivados de cloro álcali como materia prima para la fabricación de tubería y accesorios de PVC [51], grupo que conforma la cadena de producción de cloro-vinilo (Tabla 22). Sin embargo, esta industria tiene mucho potencial de crecimiento en el país, puesto que están ingresando al mercado nuevas compañías interesadas en ampliar su producción e incrementar la exportación de derivados de cloro-soda. Por lo anterior, se recomienda monitorear la liberación de mercurio en este sector ya que el incremento en la producción puede contribuir al aumento de las concentraciones de mercurio en el ambiente, durante los próximos años, por lo que es una actividad que requiere ser monitoreada.

Tabla 22. Producción parcial de cloroálcali en Colombia

Productos	Producción diaria (Ton)	Producción anual (Ton)
Cloro Liquido	24	8.760
Hidróxido de Sodio (concentrado al 48%)	140	51.100
Acido clorhídrico (Concentrado al 33 %)	90	32.850
Cloruro de calcio (Concentrado al 38%)	25	9.125
Hipoclorito de sodio industrial (Concentrado al 13%)	93	33.945
TOTAL	372	135.780

A partir de la información colectada para el año 2009, se estimó que la tasa de actividad equivale a 242.464 de toneladas al año. Los factores de entrada y distribución son los estimados en el instrumental (Tabla 23).

Tabla 23. Cuantificación de mercurio en la producción de cloro-álcali

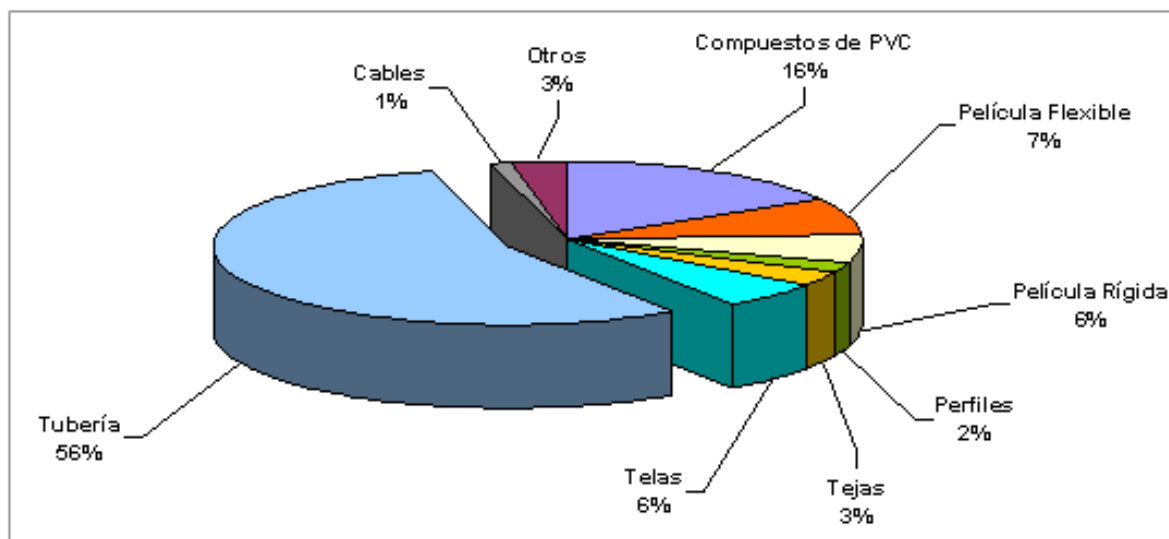
Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t Cl2 producido/año)	Factor de entrada (Kg de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	242.464,00	0,21	50.917,44
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	50.917,44	0,2	10.183,49
Agua		0,02	1.018,35
Suelo		0,38	19.348,63
Subproductos e impurezas		0,10	5.091,74
Tratamiento/disposición de residuos específicos por sector		0,30	15.275,23
Liberaciones totales			50.917,44

La producción de cloro álcali con celdas de mercurio presenta una entrada estimada de 50.917,44 Kg Hg/año, de los cuales 19.348,63 Kg Hg/año se liberan al suelo. El Instrumental del PNUMA supone, que debajo de las celdas de mercurio se da una pérdida variable por infiltración.

Producción de monómeros de cloruro de vinilo (MCV)

La producción de monómeros de cloruro de vinilo emplea como materia prima el cloro producido mediante la electrolisis de la sal, residuo de la producción de cloro álcali, y el etileno derivado del petróleo.

El cloruro de vinilo es la principal materia prima para la producción de accesorios y tuberías de policloruro de vinilo (PVC). El consumo de PVC en el mercado colombiano alcanza las 180.000 Ton/año [52] y su uso está distribuido en diferentes sectores (Figura 1, [53]).



Fuente: Mexichem Resinas Colombia, 2009.

Figura 1. Distribución del PVC en diferentes sectores

En Colombia la producción está liderada por una sola empresa que produce el 85% del PVC [54], el 15% restante proviene de empresas más pequeñas y de la importación (Tabla 24). La compañía líder está integrada por un sector de cloro-vinilo que produce cloro; soda cáustica; PVC y productos relacionados, y otro de conducción que produce tubería [50]. En este proceso productivo, el mercurio está presente en el cloruro mercúrico (HgCl_2), utilizado como catalizador en la producción de cloruro de vinilo y en las materias primas como son: cloro, etileno y carbón, donde se encuentra en cantidades traza.

Tabla 24. Comercio de monómeros de cloruro de Vinilo (VCM) en Colombia

Año	2009	2010 (proyectada)
Exportaciones	236.000	283.000
Producción para consumo nacional	153.000	Sin dato
Total producción nacional	389.000	Sin dato
Importaciones	27.000	Sin dato

Fuente: Mexichem, 2010. Las cantidades están dadas en tonelada por año.

Para la cuantificación de la entrada total de mercurio en la producción de cloruro de vinilo se utilizó la tasa de actividad y el factor de entrada recomendado por el Instrumental PNUMA (Tabla 25).

Tabla 25. Cuantificación de mercurio en la producción de monómeros de cloruro de vinilo

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t VCM producido/año)	Factor de entrada (Kg de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	389.000,00	0,12	46.680,00
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire		0,02	933,60
Agua		0,02	933,60
Subproductos e impurezas	46.680,00	0,36	16.804,80
Tratamiento/disposición de residuos específicos por sector		0,60	28.008,00
Liberaciones totales			46.680,00

La liberación total de mercurio en la categoría de productos químicos es de 97.597 Kg Hg/año, de los cuales la producción de cloro álcali aporta 50.917 Kg Hg/año y la producción de cloruro de vinilo 46.680 Kg Hg/año. Las mayores liberaciones se hacen al suelo, 19.349 Kg Hg/año y en el tratamiento específico de los residuos, 28.008 Kg Hg/año, respectivamente. Lo cual está acorde con el instrumental del PNUMA.

PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS CON CONTENIDO DE MERCURIO

Como se resalto anteriormente, en esta sub-categoría se encuentran listados los productos de uso masivo como las pilas y lámparas compactas. El DANE clasifica estos productos como acumuladores y pilas eléctricas y lámparas eléctricas y equipos de iluminación. Es importante especificar cómo están clasificados estos productos para formalizar su designación en el territorio Nacional.

Acumuladores y pilas eléctricas

El mercurio se ha usado principalmente en pilas primarias, es decir, no recargables y desde el año 2001, se observa una reducción del uso de mercurio en las pilas alcalinas ordinarias (Figura 2, [55]).

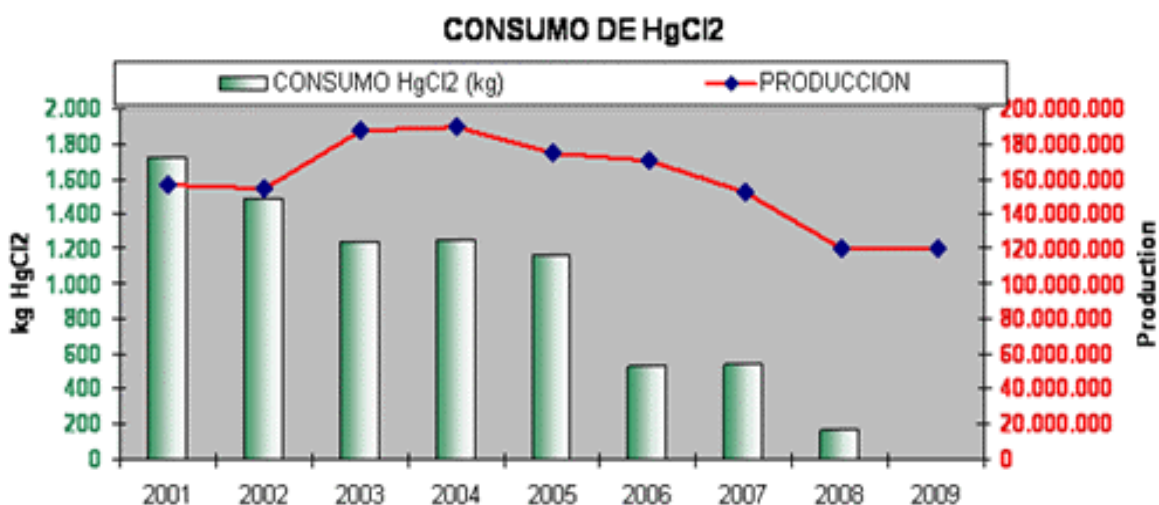


Figura 2. Consumo de mercurio en pilas

Existe en el mercado una amplia gama de acumuladores y pilas eléctricas y aunque todas cumplen con la función de almacenar energía, se diferencian, entre otras cosas, por el tamaño y presentación; el potencial eléctrico; los usos y aplicaciones; el tiempo de vida media y la composición, como en el caso de las pilas de botón que utilizan mercurio mientras que las otras variedades no.

En Colombia no se producen pilas de botón, por lo que las unidades consumidas son importadas en su totalidad. En la sección de uso y disposición de productos y sustancias con contenido intencional de mercurio, se analiza el aporte de este producto en la cuantificación nacional de mercurio.

Lámparas eléctricas y equipos de iluminación

Al igual que las pilas y acumuladores este grupo de productos ofrece una amplia gama de modelos. Sin embargo, los únicos que contienen mercurio son las fluorescentes con tubo de doble fin; las compactas de un solo fin y las fuentes de luz de alta presión de vapor de sodio y de mercurio.

En Colombia, existe un vacío de información para esta subcategoría ya que no fue posible obtener la información directa de los fabricantes y los datos de producción Nacional, obtenidos mediante fuentes oficiales, muestran un panorama general de todas las lámparas producidas sin especificar el tipo al que pertenecen. Cabe destacar que según el “Convenio de cooperación científica y tecnológica para desarrollar actividades relacionadas con la gestión de los residuos post-consumo de fuentes de iluminación, pilas primarias y secundarias” [56], el origen de las lámparas corresponde en su gran mayoría, a importaciones.

En el anexo c: cuantificaciones con factores de entrada propios, se hace una cuantificación aproximada para las baterías; pilas y lámparas fluorescentes, utilizando la información nacional.

USO Y DISPOSICIÓN DE PRODUCTOS Y SUSTANCIAS CON CONTENIDO DE MERCURIO

En este capítulo se agrupan los empastes dentales de amalgamas (preparación, utilización y eliminación), termómetros (médicos, aire, laboratorio, industriales entre otros), interruptores eléctricos, fuentes de luz (tubos fluorescentes de doble fin, compactas y otros tipos), baterías (óxido de mercurio, botón cinc-aire y alcalinas y otros tipos), producción de poliuretano catalizado con mercurio, pinturas con preservantes de mercurio, cremas y jabones para aclarar la piel con productos químicos de mercurio, medidores médicos de presión arterial, manómetros, reactivos químicos, equipos médicos y de laboratorio con mercurio. Los anteriores elementos llegan al país, en su totalidad, mediante la importación. La fuente de información oficial más precisa fue suministrada por el DANE y corresponde a las importaciones por partidas arancelarias.

A nivel mundial las principales fuentes de emisiones de mercurio son la incineración de desechos médicos y la inadecuada manipulación de productos y sustancias que contienen mercurio, llegando a constituir el 10% del total de las emisiones de mercurio al aire en Estados Unidos [63] y los efluentes no tratados, con aportes hasta del 5% del total. Por otra parte las amalgamas dentales, constituidas por 45-55% de mercurio 30% de plata y el resto de otros metales como estaño, cinc y cobre, no solo son un factor importante de liberación de mercurio al ambiente sino que representan un alto riesgo para la salud humana, tanto así que en 1991, la Organización Mundial de la Salud calificó éstos productos como no industriales [64]. Según un informe presentado a la Comisión OSPAR, los vertimientos de mercurio en el agua, suelo y aire, de origen odontológico, ascienden a 7,41 Ton/año, mientras que aproximadamente 11,5 Ton/año provienen de desechos médicos. Se considera que las anteriores actividades representan alrededor del 53% del total de las emisiones de mercurio; infortunadamente la mayoría de los países carecen de estudios y datos reales de esta problemática [65].

En la Figura 3 se muestra el consumo mundial de mercurio en los diferentes sectores productivos [66, 67], para el año 2000 y 2005. Nótese el incremento en el uso de mercurio que han tenido las actividades de minería de oro y plata, producción de monómeros de vinilo y amalgamas dentales mientras que en industrias como la de las pilas y cloro álcali se ha reducido.

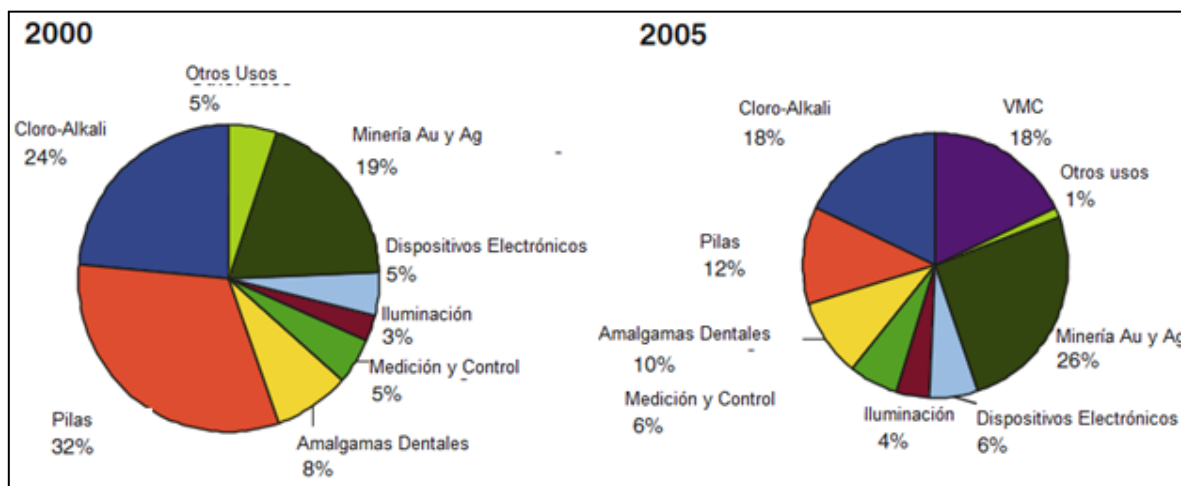


Figura 3. Consumo mundial de Mercurio en diferentes sectores productivos

Los dispositivos que contienen mercurio suponen un factor de exposición común en muchos hogares ya que cuando se rompen los niños pueden ingerir el mercurio liberado además de que la recolección y disposición se hace de manera inadecuada. Morrison [68] reporta que el límite de exposición, permitido por OSHA, en lugares de trabajo tiene un límite máximo de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y, en ambientes domésticos, de 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por ejemplo, los derrames producidos por un termómetro roto, que contiene alrededor de 0,5 g de mercurio, pueden generar concentraciones en el aire de la casa que superan los niveles recomendados de exposición para ambientes residenciales (rango de 2.5-14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), representando un riesgo de exposición y justificando así la necesidad de estos estudios [65].

EMPASTES DENTALES DE AMALGAMAS

La entrada de mercurio proveniente de empastes dentales de amalgama, es calculada utilizando los datos poblacionales del DANE y los factores de entrada referenciados por el Instrumental (Tabla 26). Las liberaciones de Mercurio en esta sub-categoría, provienen de la evaporación o ingesta de este durante el uso de los empastes (mientras están en la boca), siendo este un proceso muy lento. Hasta hace poco, investigadores como Sörme [69] y Lagerkvist [70] consideraban que alrededor de 44% del total de las entradas de mercurio encontradas en los tratamientos de aguas residuales provenía de los empastes de amalgama, mientras que sólo el 21% provenía de las clínicas dentales.

Skare y Engquist [71] han calculado liberaciones promedio de mercurio de 60 $\mu\text{g}/\text{L}$, a partir de las amalgamas que se encuentran en la boca de la población de estudio, basados en tasas de excreción y análisis de mercurio en heces y orina [6], sin contabilizar los aportes de los alimentos [4]. Por lo general, los empastes de amalgama tienen una vida útil de 10 a 20 años, en dientes permanentes, lo que significa que las salidas actuales de mercurio por disposición de empastes “gastados”, reflejan el consumo de hace 10 a 20 años. El reporte del grupo de trabajo en mercurio de New Jersey [72] supone una vida media de 15 años por amalgama.

Tabla 26. Cuantificación de mercurio en amalgamas dentales

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (número de habitantes)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/persona)	Entrada estimada Kg de Hg/año
	44.977.758,00	0,00015	6.746,66
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	6.746,66	0,02	134,93
Agua		0,33	2.239,89
Subproductos e impurezas		0,04	242,88
Residuos generales		0,19	1.295,36
Tratamiento/disposición de residuos específicos por sector		0,19	1.295,36
Liberaciones totales			5.208,42

A continuación se detallan las liberaciones derivadas de los empastes dentales (Tabla 27).

Tabla 27. Cuantificación de liberaciones derivadas de los empastes hace 5 a 15 años

Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Preparación de empastes en clínicas odontológicas			
Aire		0,02	134,93
Agua		0,14	944,53
Residuos generales	6.746,66	0,12	809,60
Tratamiento/disposición de residuos específicos por sector		0,12	809,60
Empleo de empastes en la boca			
Agua	6.746,66	0,012	80,96
Eliminación (dientes perdidos y extraídos)			
Agua		0,18	1.214,40
Subproductos e impurezas		0,04	242,88
Residuos generales	6.746,66	0,07	485,76
Tratamiento/disposición de residuos específicos por sector		0,07	485,76

PILAS O BATERÍAS

En las pilas, el mercurio tiene como función evitar la acumulación de gas hidrogeno dentro de ellas; sin embargo, la preocupación mundial por el riesgo que representa el mercurio para la salud ha generado nuevas tecnologías, limitando así el uso de mercurio a las pilas de botón [73]. Por lo anterior, la cuantificación de mercurio para esta subcategoría se limitará a este producto.

Las pilas de tipo botón son aquellas en forma de moneda o botón que se usan para suministrar energía a pequeños dispositivos electrónicos portátiles, pueden ser de óxido de litio; zinc-aire; alcalinas y de litio y plata. Las baterías de zinc de aire se utilizan principalmente en los audífonos; las de óxido de plata, en relojes y cámaras y las pilas alcalinas de manganoso, en los termómetros digitales, calculadoras, juguetes y otros productos que requieren una fuente de alimentación compacta.

De acuerdo con el “Convenio de Cooperación Científica y Tecnológica, para desarrollar actividades relacionadas con la gestión de los residuos post-consumo de fuentes de iluminación, pilas primarias y secundarias” [74], la mayoría de importaciones de pilas procede de los Estados Unidos y de acuerdo a un informe de la Comisión Mixta Permanente de Recursos Naturales de los Estados Unidos [75], el contenido promedio de mercurio en ellas es de 2,5 mg, 8,5 mg y 10,8 mg para los tipos de óxido de plata, zinc-aire y alcalinas, respectivamente.

El mercurio de las baterías se libera al ambiente, principalmente durante la fabricación y eliminación, aunque también puede ser liberado en las otras etapas del ciclo de vida del producto. El uso y eliminación de estas pilas no está regulado y por ende se disponen en la basura de la casa y rara vez las empresas productoras las recogen para el reciclaje.

Tabla 28. Cuantificación de mercurio en las baterías tipo botón

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t baterías ventas/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/t baterías)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
Pilas de botón (zinc-aire, pilas alcalinas tipo botón, de óxido de plata)	1,60	7,00	11,20
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución (Kg de Hg/Ton)	Estimación de emisiones de Hg
Aire	11,20	0,25	2,80
Suelo		0,25	2,80
Desechos en general		0,50	5,60
Liberaciones totales			11,00

LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS (LFC) Y OTRAS BOMBILLAS FLUORESCENTES

Las LFC contienen pequeñas cantidades de mercurio, el cual les da la característica de ahorradoras, es decir consumen menos energía que una bombilla ordinaria. En promedio, las LFC contienen 4 mg de mercurio, sellado dentro del tubo de vidrio y la liberación de este ocurre en forma de vapor, cuando se rompe o elimina la lámpara [28]. El bajo consumo de energía y su vida útil, 10 veces mayor al de las corrientes, las hace una buena opción de consumo ya que ahorra dinero y no emite gases de efecto invernadero. En comparación, algunos termómetros contienen 500 mg de mercurio aproximadamente, cantidad comparable con la utilizada en 100 lámparas fluorescentes compactas.

La tasa de actividad para esta subcategoría se obtiene sumando los datos de consumo de las fuentes luminicas que contienen mercurio. Los factores de entrada y liberación se tomaron del instrumental (Tabla 29).

Tabla 29. Cuantificación de mercurio en fuentes de luz con mercurio

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (artículos vendidos/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/Ton)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
Tubos fluorescentes (fin doble)	81.169.501,00	0,000025	2029,24
Lámpara fluorescente compacta (fin individual)	14.017.568,00	0,00001	140,18
Otros fuentes de luz que contengan Hg	1.116.666,00	0,0000225	25,12
Total	96.303.735,00		2.194,54
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución (Kg de Hg/Ton)	Estimación de emisiones de Hg
Aire	2.194,54	0,30	658,36
Suelo		0,30	658,36
Residuos generales		0,60	877,82
Liberaciones totales			2.194,54

NOTA: La tasa de actividad para cada tipo de lámpara se calculo con base en la información de las partidas arancelarias de la DIAN [1].

INTERRUPTORES ELÉCTRICOS

Los interruptores eléctricos o *switches* son los dispositivos que abren o cierran un circuito eléctrico ó líquido o una válvula de gas. Los interruptores que contienen mercurio corresponden a los tipo flotador, accionados por el aumento o disminución del nivel de líquido; interruptores basculantes, accionado por un cambio en la posición del interruptor; interruptores de presión, accionada por un cambio en la presión y los interruptores de temperatura y sensores de llama, accionados cambios en la temperatura.

Para esta categoría la tasa de actividad utilizada corresponde a la población colombiana en el año 2009. Los factores de entrada y distribución se tomaron del instrumental (Tabla 30).

Tabla 30. Cuantificación de mercurio en interruptores eléctricos con mercurio

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (Número de habitantes)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/habitante)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	44.977.758,00	0,00014	6.296,89
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución (Kg de Hg/Ton)	Estimación de emisiones de Hg
Aire	6.296,89	0,30	1.889,07
Suelo		0,40	2.518,75
Residuos generales		0,30	1.889,07
Liberaciones totales			6.296,89

TERMÓMETROS

Un termómetro es un tubo de vidrio cerrado por ambos extremos, que contiene mercurio y una escala de temperatura estándar pintada en el vidrio del tubo. En estos productos el mercurio se utiliza para marcar la temperatura, debido a que los cambios térmicos expanden y contraen el metal. Un termómetro de mercurio se puede identificar fácilmente por la presencia de una bombilla de plata. Si la bombilla es de color rojo, azul, morado, verde o cualquier otro color, no es un termómetro de mercurio. Los termómetros de mercurio se utilizan para determinar la temperatura corporal (termómetros), la temperatura de líquidos y de vapor; se utilizan en los hogares, laboratorios, centros médicos, hospitalarios, instituciones educativas e industria.

Los termómetros de mercurio son de uso común en los hogares para medir fiebre y en la industria de repostería y de carnes para controlar la temperatura de los congeladores.

A continuación se detallan los diferentes tipos de termómetros que existen en el mercado nacional:

Termómetros de mercurio para medir la temperatura corporal

Los termómetros de mercurio para medir la temperatura corporal están clasificados en dos tipos: oral / rectal / termómetros bebé, que contiene cerca de 0,61 g de mercurio, y termómetros de temperatura basal, que contiene cerca de 2,25 g de mercurio.

Termómetros para fines institucionales de educación y usos médicos

Los termómetros de mercurio se pueden utilizar en muchas aplicaciones, incluyendo experimentos químicos, baños de agua, bancos de sangre, hornos e incubadoras.

Termómetros de usos industriales

Las actividades industriales que requieren del uso de termómetros son las centrales eléctricas; la fabricación de tuberías y tanques; los depósitos químicos; los procesos de calefacción y refrigeración; las cervecerías; las fábricas de conservas, las panaderías, las industrias de dulces y lácteos; la fabricación de embarcaciones, las bodegas y destilerías y las calderas usadas en la fabricación de pintura.

Las liberaciones a partir de termómetros pueden ocurrir, al aire, el agua y la tierra, dependiendo de lo cerrados que sean los sistemas de manufactura y de los procedimientos de manejo en el lugar de trabajo y dentro de las unidades de producción individual, este caso particular no aplica en el país. Cuando los termómetros se rompen durante su uso y durante su disposición después de cumplida su vida útil, puede liberarse a la tierra o al relleno sanitario, pero posteriormente se libera al agua y al aire, dependiendo en gran medida, de los tipos y de la eficacia de los procedimientos de recolección y manejo de desechos.

Las liberaciones de mercurio debidas a rompimientos y pérdidas de los termómetros, pueden calcularse a partir del consumo nacional de termómetros que lo contengan y del número de termómetros que se rompen o pierden durante su vida útil (Tabla 31).

Tabla 31. Cuantificación de mercurio en termómetros

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (artículos vendidos/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/artículo)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
Termómetros médicos	1.921.309,00	0,001	1921,31
Otros termómetros de vidrio con Hg (aire, de laboratorio, productos lácteos, etc.)	132.435,00	0,012	1589,22
Termómetros de control, industriales y Termómetros especiales con Hg	224.102,00	0,103	23.082,51
Liberaciones totales	2.277.846,00		26.593,04
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución (Kg de Hg/Ton)	Estimación de emisiones de Hg
Aire		0,20	5.318,61
Agua		0,30	7.977,91
Suelo	26.593,04	0,20	5.318,61
Residuos generales		0,30	7.977,91
		Liberaciones totales	26.593,035

PINTURAS

Antiguamente solía añadirse, a las pinturas a base de agua, acetato fenilmercúrico u otros compuestos de mercurio para que actuaran como biocidas, cuyo propósito era extender la vida útil de almacenamiento ya que controlaban la fermentación bacteriana dentro de la lata. Además, los compuestos inorgánicos de mercurio, de baja solubilidad, se usaban, antes de 1970, como aditivos en recubrimientos y pinturas marinas a fin de evitar la contaminación de los cascos de los buques por bacterias y otros organismos marinos [72].

Según las partidas arancelarias consultadas en el país, no se producen ni se importan ningún tipo de pinturas con algún tipo de ingrediente que contenga mercurio, por lo tanto esta subcategoría no se tiene en cuenta para este inventario.

OTROS MANÓMETROS Y MEDIDORES DE MERCURIO

En esta categoría se incluye los medidores de presión sanguínea, los manómetros/controles de presión para uso industrial, los manómetros con propósitos educativos y las válvulas de presión de calefacción urbana.

En el caso de las válvulas de presión para calefacción urbana y para usos educativos, el mercurio metálico que se emplea, suele venderse por separado, es decir, no está integrado en el producto. El mercurio puede suministrarse durante el período de uso de todos los tipos mencionados y puede desecharse con los dispositivos o por separado. Existen alternativas sin mercurio para todos los usos y poco a poco están sustituyendo los equivalentes con mercurio [76].

Al igual que en el caso de otros productos que contienen mercurio, las liberaciones pueden darse al aire, a las aguas residuales o al suelo, ya sea por el rompimiento o la pérdida de mercurio contenido en medidores/manómetros o por el almacenamiento de estos en rellenos sanitarios, caso en el cual la liberación se da al suelo y posteriormente al agua y el aire [77].

Un factor de entrada por defecto se puede basar en lo propuesto por Floyd *et. al.* [77], quien calcula que por cada 2 toneladas de los productos mencionados anteriormente, hay una entrada de 0.005 g de Hg por habitante durante el año de estudio, aproximadamente. De igual manera, debe destacarse que la cuantificación de mercurio para cada uso es difícil de discriminar y de distinguir lo cual induce a errores en el cálculo [76, 77].

Para este inventario se tendrá en cuenta el factor de entrada estipulado por Floyd, los factores de distribución del instrumental. La tasa de actividad utilizada corresponde a la población colombiana en el año 2009 (Tabla 32).

Tabla 32. Otros manómetros y medidores de mercurio

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (Número de habitantes)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/habitante)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	44.977.758,00	0,000005	224,89
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución (Kg de Hg/Ton)	Estimación de emisiones de Hg
Aire	224,89	0,20	44,98
Agua		0,30	67,47
Suelo		0,20	44,98
Residuos generales		0,30	67,47
Liberaciones totales			224,89

LABORATORIOS QUÍMICOS Y OTROS LABORATORIOS Y EQUIPOS MÉDICOS CON MERCURIO

El mercurio se usa en aparatos especiales de laboratorio (contadores de Coulter, etc.), reactivos químicos para análisis como: el de demanda química de oxígeno (DQO); el de Kjeldahl (análisis de nitrógeno); el de electrodos para mediciones fisicoquímicas, electrodos calomel, y otros. Parte de ese mercurio se libera al aire, especialmente a través del sistema de ventilación de las instalaciones. Sin embargo, la mayor parte del mercurio puede liberarse en las aguas residuales o depositarse como desechos sólidos o municipales.

Es posible que se haya sustituido al mercurio en algunos equipos y métodos analíticos citados. No obstante, en la práctica, para algunos análisis estándar, el mercurio resulta difícil de sustituir, aun cuando se disponga de sustitutos.

Para esta categoría el factor de entrada se basa por defecto en los valores del Instrumental del PNUMA, el cual se toma como base el consumo actual de los productos mencionados anteriormente. A través de un estudio se mostró la relación entre la concentración de mercurio existente en los laboratorios, equipos de medición y reactivos, y el número total de habitantes, obteniéndose que por cada habitante hay 0.01 g Hg en laboratorios químicos y 0.04 g Hg en otros laboratorios médicos. Sobre esta base, se aplica un único factor de distribución (FD) de 1, el cual es dividido entre las matrices de liberación así: agua, 0,33; residuos generales, 0,33 y tratamiento /disposición específicos por sector, 0,34 (Tabla 33).

Tabla 33. Cuantificación de mercurio en laboratorios químicos

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (Número de habitantes)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/habitante)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	44.977.758,00	0,00001	449,78
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución (Kg de Hg/Ton)	Estimación de emisiones de Hg
Agua		0,33	148,43
Residuos generales	449,78	0,33	148,43
Tratamiento/disposición de residuos		0,34	152,92
Liberaciones totales			449,78

Tabla 34. Cuantificación de mercurio en otros laboratorios médicos

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (Número de habitantes)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/habitante)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	44.977.758,00	0,00004	1799,11
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución (Kg de Hg/Ton)	Estimación de emisiones de Hg
Agua		0,33	593,71
Residuos generales	1.799,11	0,33	593,71
Tratamiento/disposición de residuos		0,34	611,70
Liberaciones totales			1.799,11

GESTIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS

En este capítulo se han agrupado las categorías de producción de metales reciclados, incineración de residuos y disposición de residuos en rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales. A continuación se hace un análisis acorde a las categorías, y sus respectivas subcategorías, establecidas en el instrumental del PNUMA.

PRODUCCIÓN DE METALES RECICLADOS

La categoría de producción de metales reciclados incluye la producción de mercurio reciclado y de metales ferrosos reciclados. En Colombia, el mercurio se recupera mediante procesos de extracción de equipos desmantelados y productos de desecho como manómetros, termómetros, desechos hospitalarios y lámparas. Sin embargo, este mercurio no se comercializa sino que se dispone en recipientes especiales herméticamente sellados y se confina en celdas de seguridad [57]. Por lo anterior esta subcategoría no se tendrá en cuenta para el análisis de cuantificación de mercurio.

Producción de metales ferrosos reciclados (hierro y acero)

En Colombia se tiene poca información referente a esta categoría, por lo que los datos obtenidos deben considerarse como una aproximación a la realidad nacional ya provienen solamente de la chatarrización de automotores.

La tasa de actividad tomada como referencia equivale a la cantidad de automotores chatarrizados en el año 2009 y los factores de entrada y liberación se tomaron del instrumental del PNUMA (Tabla 35).

Tabla 35. Cuantificación de mercurio en la producción de metales ferrosos reciclados

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (Vehículos chatarrizados/ año)	Factor de entrada (Kg de Hg/ vehíc. chat.)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	278,00	0,0011	0,306
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	0,306	0,33	0,101
Suelo		0,34	0,104
Desechos en general		0,33	0,101
Liberaciones totales			0.306

Incineración de residuos

La incineración es un tratamiento clave para eliminar los residuos hospitalarios y peligrosos que se generan a diario en Colombia. En este punto se contemplan cuatro sub-categorías dependiendo del tipo de residuo incinerado: desechos municipales/generales, desechos peligrosos, desechos médicos y lodos cloacales e incineración informal de desechos.

En general, todo el mercurio que entra a los incineradores es evaporado y liberado a la atmósfera, cuando no se cuenta con filtros, o colectado en los filtros de las chimeneas; sin embargo, en algunos tipos de incineradores parte del mercurio puede quedarse en la ceniza de la rejilla o en los residuos de los materiales parcialmente incinerados. La cantidad de mercurio liberada a la atmósfera dependerá en gran medida de la cantidad y calidad de los dispositivos de control.

Los desechos sólidos municipales consisten básicamente en basura doméstica; desechos sólidos de tipo industrial y residuos hospitalarios que no provienen de la industria manufacturera; y que generalmente se incineran de manera no controlada. Por su parte, los desechos con materiales minerales suelen depositarse en rellenos sanitarios, siempre y cuando exista uno, de lo contrario serán arrojados en los botaderos municipales donde no hay selección, ni clasificación de los residuos que llegan.

El mercurio contenido en los desechos generales puede agruparse de la siguiente manera: 1) mercurio usado en productos desechados y residuos de procesos; 2) impurezas naturales de mercurio y 3) mercurio como contaminante traza antropogénico en grandes volúmenes de material.

Para calcular la tasa de actividad, se contactó a las empresas gestoras de residuos que prestan el servicio de tratamiento térmico, teniendo como referente aquellas ubicadas en las grandes ciudades del país, por ser las más representativas, y se solicitó información de la base de datos de registro de generadores de residuos peligrosos del IDEAM donde se recopila la información a nivel nacional. Inicialmente, se quiso utilizar como referente el inventario nacional de dioxinas y furanos (2002), en el cual se habían identificado 130 hornos incineradores de residuos peligrosos y 171 hornos de residuos hospitalarios en el territorio nacional [58]. Sin embargo, al entrar en vigencia las resoluciones 058 de 2002 y 886 de 2004, el número de incineradores en funcionamiento han disminuido, debido a que han sido desmantelados por no cumplir con las condiciones técnicas de operación, lo cual ha hecho que los generadores de residuos contraten a empresas gestoras de residuos peligrosos para realizar el tratamiento térmico a los residuos resultantes de su actividad o sus procesos productivos.

Incineración de desechos municipales

Esta categoría incluye los residuos municipales domésticos que son llevados a los diferentes sitios de disposición final, como rellenos sanitarios; enterramientos y botaderos a cielo abierto, sin ser sometidos a tratamiento térmico.

Adicionalmente, se contemplan los residuos incautados e incinerados en los aeropuertos de las principales ciudades y que cuentan con sus propios hornos. Según información de la Aerocivil, los hornos instalados en estos sitios han sufrido un proceso de desmantelamiento por cuanto la incineración se está haciendo a través de empresas especializadas que cuentan con los equipos, procedimientos y permisos ambientales. Para el año 2009, solamente el Aeropuerto Internacional El Dorado cuenta con un horno incinerador de última tecnología, pero aún no se encuentra en operación ya que el permiso de emisiones atmosféricas se está tramitando ante la Secretaría Distrital de Ambiente.

Por lo anterior, esta categoría no se tendrá en cuenta en esta primera aproximación a la cuantificación nacional de mercurio.

Incineración de desechos peligrosos

Aquí se incluyen todos aquellos residuos generados en las diferentes actividades productivas y que dadas sus características de peligrosidad no pueden ser dispuestos con los residuos ordinarios ya que pueden causar daño a la salud y al ambiente [59]. Algunos de los residuos incinerados son: estopas y envases plásticos contaminados con hidrocarburos, aceite usado; ACPM; gasolina, y disolventes orgánicos, entre otros.

La tasa de actividad para esta sub-categoría fue calculada teniendo en cuenta los reportes de algunas empresas donde se realiza tratamiento térmico. No se utilizó la información de la base de datos del registro de generadores de residuos peligrosos del IDEAM, ya que la información reportada sola va hasta el año 2008 y los factores de entrada y distribución se tomaron del instrumental del PNUMA (Tabla 36).

Tabla 36. Cuantificación de mercurio en la incineración de desechos peligrosos

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t desechos incinerados / año)	Factor de entrada (G de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	14.020,00	0,024	336,48
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire		0,9	302,83
Tratamiento/disposición de residuos	336,48	0,1	33,65
Liberaciones totales			336,48

Incineración de desechos médicos

Los desechos hospitalarios representan un riesgo para la salud del personal médico; pacientes; visitantes; personal de recolección de desechos y en general a toda la comunidad, así como para el ambiente. Una de las alternativas para resolver esta problemática en Colombia, fue incluir el programa nacional para la gestión integral de residuos hospitalarios en el Plan Nacional Ambiental (PLANASA, 2000 – 2010), en el cual se incluye el manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares que exige a los generadores un adecuado manejo de los desechos hospitalarios.

Los desechos hospitalarios generalmente sometidos a tratamiento térmico, son los elementos cortopunzantes, anatomopatológicos y biosanitarios. Los residuos mercuriales no son sometidos a tratamiento térmico dado que las alternativas de disposición final aceptadas en Colombia para éste tipo de residuos son los rellenos con celdas de seguridad y el encapsulamiento por cementación. El análisis de TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) sirve para controlar que no haya lixiviación desde el material aglomerado y devolución al proveedor [60].

Los cálculos de tasa de actividad para esta sub-categoría se tomaron de los registros de generadores de residuos peligrosos (2008); corrientes de residuos A4020, desechos clínicos y afines, y desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos y clínicas (Y1) del IDEAM, entidad que reporta valores más altos que los suministrados por las respectivas empresas. El factor de entrada utilizado, fue el sugerido por el PNUMA. Los cálculos se pueden observar en la Tabla 37.

Tabla 37. Cuantificación de mercurio en la incineración de desechos médicos

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t desechos incinerados / año)	Factor de entrada (G de Hg/ t)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	7.344,00	0,024	176,26
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	176,26	0,90	158,63
Tratamiento/disposición de residuos		0,10	17,63
Liberaciones totales			176,26

Incineración de lodos cloacales

En Colombia este tipo de desechos corresponde a los lodos resultantes de los diferentes tratamientos de las aguas residuales; sin embargo, no hay información disponible sobre la disposición final de los mismos, aunque se presume que estos lodos no son sometidos al proceso de incineración.

La disposición final de estos lodos se ha complicado por el contenido de metales pesados y microorganismos que no permiten que sean usados como abono agrícola. Por lo tanto, esta sub-categoría no se tratará en este inventario dado que no hay información disponible.

Quema de desechos a cielo abierto

Esta subcategoría incluye aquellos desechos municipales que no son dispuestos en rellenos sanitarios ni en botaderos o sitios de enterramiento, si no que son quemados a cielo abierto sin ningún tipo de control.

Para el cálculo de la tasa de actividad se tuvo en cuenta la información suministrada por la superintendencia de servicios públicos, referente a la disposición final de los desechos en el territorio Colombiano [61]. El factor de entrada utilizado fue el suministrado por el Instrumental PNUMA. Los cálculos de las liberaciones de mercurio al ambiente se presentan en la Tabla 38.

Tabla 38. Cuantificación de mercurio por quema de desechos a cielo abierto

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t desechos incinerados / año)	Factor de entrada (Kg de Hg/ t de desechos)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	4.749,00	0,0055	23,75
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	23,75	1	23,75
Liberaciones totales			23,75

DISPOSICIÓN DE RESIDUOS RELLENOS SANITARIOS Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Esta categoría incluye las sub-categorías de rellenos sanitarios/depósitos controlados, vertederos informales de desechos y sistemas de tratamiento de aguas residuales. La cuantificación de la entrada y liberación de mercurio para estas subcategorías se detalla a continuación.

Rellenos sanitarios/depósitos controlados

Los rellenos sanitarios son el referente de la disposición final de los residuos sólidos en Colombia, actividad que hace parte integral del servicio público de aseo según La Ley 142 de 1994, *por la cual se establece el régimen de Servicios Públicos Domiciliarios y se dictan otras disposiciones y posteriormente sus decretos*

reglamentarios. El mercurio existente en estos sistemas proviene de las concentraciones propias de cada producto depositado en el relleno y de los gases y lixiviados que se generan durante el proceso de degradación de los residuos sólidos.

En enero de 2009, se estimó una producción de residuos sólidos de 11.268.692 t/año, de las cuales 10.095.119 (89,6%) fueron dispuestos en 255 rellenos sanitarios, entre los que se cuentan 58 de tipo regional. En los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Guaviare, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima y Valle, se disponen un total de 23.087 t/día provenientes de 486 municipios, es decir el 72% de los residuos totales provenientes de los municipios que disponen de relleno sanitario [61]. Los departamentos donde se concentra la mayor generación de residuos sólidos son los que tienen mayor población: Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca, Atlántico y Norte de Santander, y es allí donde están los rellenos más grandes y complejos del país.

En Colombia, la gran mayoría de los residuos sólidos generados son depositados en rellenos sanitarios sin que haya un proceso de clasificación o separación en el lugar donde se generan, por lo que allí van a parar todo tipo de residuos: sólidos domiciliarios; hospitalarios no patógenos; industriales no peligrosos; los desechos provenientes del barrido de calles y los residuos de productos que contienen mercurio como termómetros, pilas, bombillas, interruptores.

La cantidad de mercurio en los desechos depende directamente del consumo de productos y materiales que lo contienen y que van a los sitios de disposición final en nuestro país. La cantidad estimada de residuos sólidos depositados en rellenos sanitarios en el año 2009, fue de 10.095.119 toneladas. Para el cálculo de la tasa de actividad se tomó la información reportada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en la que se reportaba el número de rellenos sanitarios. El factor de entrada utilizado es el del PNUMA debido a que no se encontraron reportes sobre las cantidades de mercurio en los desechos sólidos municipales dispuestos en los rellenos sanitarios (Tabla 39).

Tabla 39. Rellenos sanitarios/depósitos controlados

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t desechos depositados en rellenos/ año)	Factor de entrada (g de Hg/ t de desechos)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	10.095.119,00	0,005	50.475,60
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	50.475,60	0,01	504,76
Agua		0,001	5,05
Liberaciones totales			509.81

Se asume que los 49.965,79 kilogramos de mercurio no liberados quedan confinados dentro de los rellenos, cuando estos están bien impermeabilizados, o se liberan al suelo cuando no cuentan con una adecuada impermeabilización. En el caso ideal cuando el sistema no presenta infiltraciones el 98% del mercurio queda confinado dentro del relleno sanitario.

En Colombia no se tienen estudios que correlacionen las liberaciones de mercurio en lixiviados y gases en un mismo sitio de disposición final, lo que genera un vacío de información para calcular los factores de emisión en gases, obligando a utilizar los factores preliminares proporcionados por el instrumental del PNUMA.

Vertederos informales de desechos

Colombia cuenta con 246 botaderos a cielo abierto donde se disponen un promedio de 767.909 toneladas de residuos sólidos municipales al año. Estos botaderos no cuentan con la infraestructura necesaria para la captación de lixiviados y biogás y no utilizan ningún material de recubrimiento para los residuos que allí se disponen. Adicionalmente, en 48 sitios se efectúa el enterramiento de 60.119 toneladas de residuos sólidos municipales sin planificación, impermeabilización y recubrimiento de los residuos, salvo algunas excepciones.

La tasa de actividad de 828.028 toneladas se calculó a partir de la información reportada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; el factor de entrada utilizado fue el mismo para los botaderos y los sitios de enterramiento y fue tomado del instrumental, al igual que los factores de distribución (Tabla 40).

Tabla 40. Vertederos informales de desechos

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (t desechos vertidos / año)	Factor de entrada (g de Hg/ t de desechos)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	828.028,00	0,005	4.140,14
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	4.140,14	0,1	414,01
Agua		0,1	414,01
Suelo		0,8	3.312,12
		Liberaciones totales	4.140,14

Sistemas de tratamiento de aguas residuales

En Colombia las aguas residuales municipales generalmente son vertidas sin ningún tratamiento en los cuerpos de agua. La mayoría de los principales municipios cuentan con plantas de tratamiento primario y algunos pocos cuentan con tratamiento secundario.

En la actualidad, la disposición final de los lodos se hace como en relleno sanitario, para recuperación de taludes y zonas donde hubo explotación de minas; en lotes baldíos, e inclusive clandestinamente son arrojados a las fuentes de agua. Sin embargo, no se tiene información sobre la cantidad, caracterización y destinación de los lodos.

Para calcular la cantidad de aguas residuales domésticas generadas y vertidas al alcantarillado, se tomó la población de las cabeceras reportada en el censo del año 2005, obteniendo un uso promedio de 163 L/habitante-día. La cobertura del servicio de alcantarillado urbano para ese mismo año fue de 87,9%. En el año 2009, se trataron 608.417.741 m³ de aguas residuales municipales urbanas de origen doméstico y 1.298.652.480 m³ se vertieron sin tratamiento [62].

La entrada de mercurio para esta sub-categoría, se calculó tomando los factores de entrada y distribución dados por el instrumental del PNUMA (Tabla 41), teniendo en cuenta que las aguas residuales son en su mayoría de origen doméstico y provienen de las áreas urbanas y que para las aguas residuales industriales se permite una descarga máxima de 0,02 mg Hg/L, según lo reglamentado en el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura y en el Decreto 3440 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Tabla 41. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (m³/año)	Factor de entrada (Kg de Hg/ t de desechos)	Entrada estimada (Kg de Hg/año)
	608.417.741,00	0,00000525	3.194,19
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Agua	3.194,19	0,9	2.874,77
Residuos generales		0,1	319,42
Liberaciones totales			3.194,19

CREMATORIOS Y CEMENTERIOS

En este proceso el mercurio se libera a la atmósfera durante el proceso de incineración de los cadáveres, siendo el aire la matriz más afectada por esta actividad [72], que implica altas temperaturas. Es probable que gran parte del mercurio de los cadáveres cremados se libere al aire a través de la chimenea. Sin embargo, algunos crematorios disponen de controles eficaces de emisión y la mayor parte del mercurio puede llegar a las cenizas volantes y otros residuos, y un porcentaje muy pequeño puede encontrarse en las cenizas de los restos [78]. Las emisiones atmosféricas generadas por este tipo de instalaciones está reglamentada por las resoluciones 0058 de 2002, 0886 de 2004 y 909 de 2008.

La cantidad de mercurio en un cadáver humano, varía considerablemente y depende en gran medida del número de empastes con amalgama que posea en la boca y en menor medida, del tamaño de estos. Se ha estimado que el empaste dental tradicional contiene entre 0.2 y 0.6 g de mercurio, y aproximadamente 0.4 g de mercurio por empaste. Aunque la cantidad de mercurio emitida por un solo cuerpo es pequeña, la suma de todos los cadáveres cremados en un año genera una emisión de mercurio considerable. Los cuerpos no cremados, también liberan mercurio al ambiente mediante los procesos de lixiviación y degradación biológica.

La cremación es una alternativa cada vez más popular para la disposición final de cadáveres en Colombia, factores como el bajo costo; el menor impacto emocional en los familiares y el reducido impacto para el medio ambiente, la convierte en una alternativa importante.

En el país se encuentran reportes de la existencia de aproximadamente 40 hornos crematorios, la mayoría de los cuales cuentan con cámara de postcombustión y en donde los cadáveres son cremados sin ataúd [79] . Los hornos crematorios más grandes están ubicados en: Antioquia (8)², Valle del Cauca (6), Bogotá D.C. (5), Bolívar (4) y en Córdoba (2). A nivel nacional, Medellín registra los índices de cremación más altos en Colombia ya que el 58% de las personas que fallecen diariamente en la ciudad son cremadas, seguido de Bogotá con un 47% y Cali con un 39%, con una alta tendencia a aumentar [80] .

Aunque el auge de la cremación es indiscutible en las grandes ciudades, la cultura de la inhumación persiste en la mayoría del territorio nacional, encontrando aún diferentes tipos de cementerios como los que se mencionan a continuación:

- Cementerio de bóvedas: Predominan las inhumaciones en espacios cerrados y estructuras sobre el nivel del suelo.
- Cementerio de sepulturas o tumbas: Predominan las inhumaciones en espacios y estructuras bajo el nivel del suelo.
- Cementerios de bóvedas y sepulturas o tumbas: Admiten inhumaciones en ambas destinaciones.
- Cementerios en altura: Se admiten inhumaciones de cuerpo en bóvedas, osarios o inhumación de cenizas en varios pisos.
- Jardín cementerio: Predominan las inhumaciones en sepulturas o tumbas³.

De 38 parques cementerios, el 30% están cumpliendo con la normatividad, y de los 1000 cementerios municipales, 700 están tramitando las autorizaciones y permisos ante las autoridades competentes [26].

² El número entre paréntesis indica la cantidad de hornos que existen en el departamento mencionado.

³ Fenalco. 2010. Comunicación personal

En Colombia, la prestación de los servicios de cementerios, inhumación, exhumación y cremación de cadáveres, por parte de empresas públicas: privadas o mixtas, dedicadas a éste servicio se encuentra reglamentada por la resolución 1447 de 2009.

Algunos estudios señalan que la cantidad de mercurio liberada por un cuerpo cremado oscila entre 0,036 y 2,140 g/cuerpo [81]; sin embargo, es necesario ahondar en investigaciones, a nivel nacional, que permitan identificar el valor promedio de mercurio en los cadáveres del país y las liberaciones ocurridas en el lugar de reposo de los mismos (inhumación o cremación).

Para realizar la estimación de la tasa de actividad para ésta categoría, se tomó como referencia la información del comité de funerarias y parques cementerios de FENALCO. Los cálculos de las entradas, liberaciones y emisiones de mercurio que se presentan, se realizaron con base en los factores de entrada y distribución, suministrados por el Instrumental del PNUMA.

El Comité Nacional de funerarias y parques cementerios de FENALCO reportó, para el año 2009, 184.000 fallecimientos, de los cuales 33.000 fueron cremaciones, es decir el 18% de las cremaciones totales a nivel nacional. Por lo tanto, la tasa de actividad correspondiente a cremaciones humanas es de 33.000 (Tabla 42) y de 151.000 para los cuerpos enterrados (Tabla 43).

Tabla 42. Cuantificación de mercurio en los hornos crematorios colombianos

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (cuerpos enterrados/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ cuerpos enterrados)	Entrada estimada Kg de Hg/año
	33.000,00	0,0025	82,50
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Aire	82,50	1	82,50
Liberaciones totales			82,50

Tabla 43. Cuantificación de mercurio en los cementerios colombianos

Entrada total de mercurio	Tasa de actividad (cuerpos enterrados/año)	Factor de entrada PNUMA (Kg de Hg/ cuerpos enterrados)	Entrada estimada Kg de Hg/año
	151.000,00	0,0025	377,50
Liberación	Entrada estimada Kg de Hg/año	Factores de distribución	Estimación de emisiones de Hg
Suelo	377,50	1	377,50
Liberaciones totales			377,50

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta un análisis de los resultados obtenidos en el inventario que busca presentar los resultados de una manera más sencilla y sintetizada con el fin de resaltar las mayores problemáticas del país en cuanto a las liberaciones de mercurio se refiere.

ENTRADAS DE MERCURIO

Colombia, en el año 2009, tuvo una entrada de 352.300 kilogramos de mercurio proveniente principalmente de actividades como la producción de oro con y sin amalgamación; la producción de cloroálcali; la disposición de desechos; la industria de químicos y polímeros y el uso y la disposición de otros productos con contenido de mercurio (Figura 4).

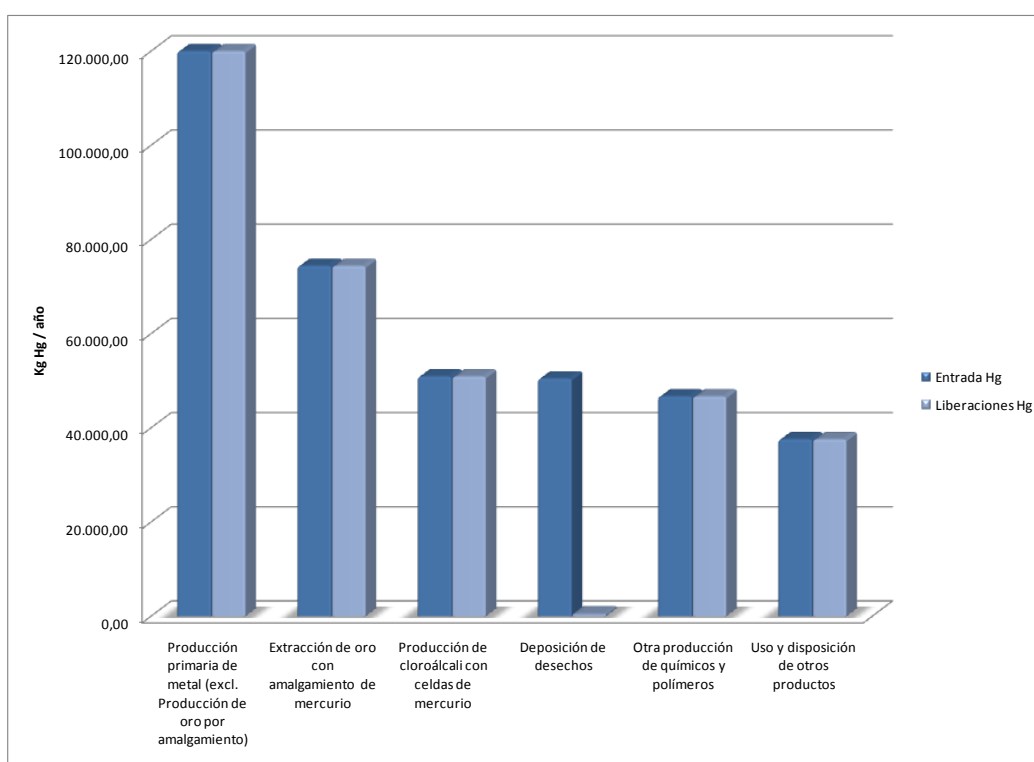
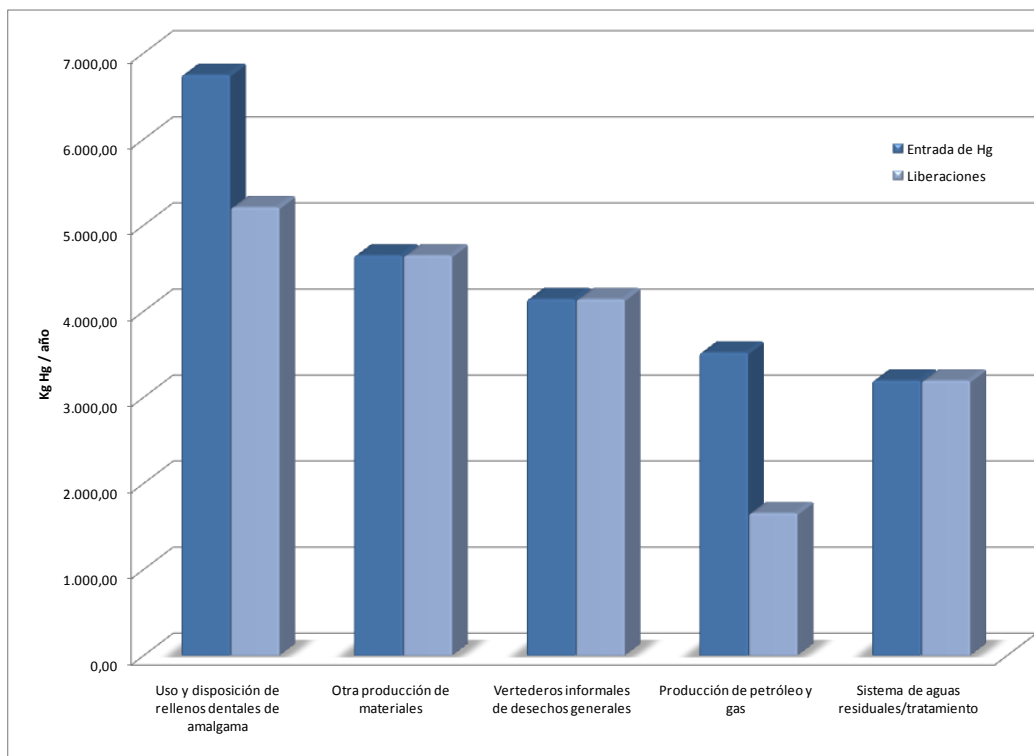


Figura 4. Categorías con mayor cuantificación de mercurio

En este primer grupo se encuentran las mayores entradas y liberaciones de mercurio, salvo para la categoría de los desechos donde la entrada es mucho mayor que la salida, por lo que representa aquellos sectores donde deben priorizarse las acciones de control. La diferencia mencionada es un factor común en muchos sistemas de tratamientos de residuos a nivel mundial, ya que la complejidad de estos y las múltiples reacciones de descomposición de la materia orgánica limitan la medición del mercurio liberado y por ende su cuantificación.

Las categorías restantes se dividieron en medianos y pequeños aportantes de mercurio dependiendo de la cantidad que utilizaron en su procesos productivo, de esta forma se tiene que las actividades industriales de

orden medio son aquellas que consumieron entre 0 y 7000 Kg hg/año (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y las de orden bajo que están entre los 0 y 1000 Kg Hg al año (



).

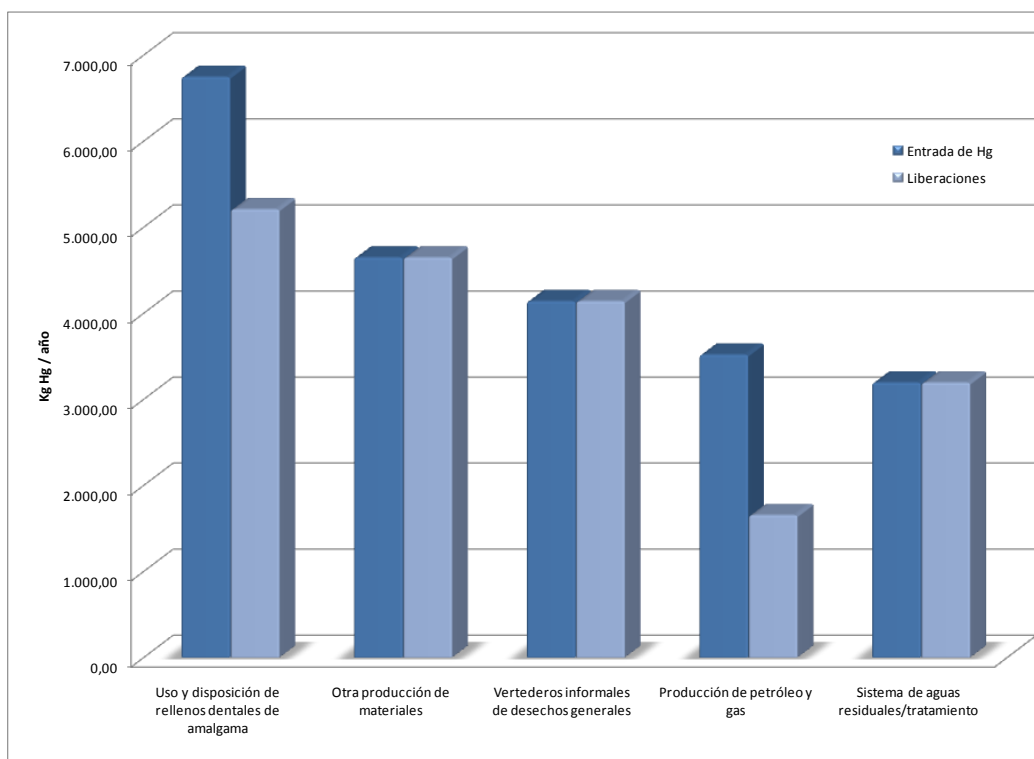


Figura 5. Categorías con mediana cuantificación de mercurio

En la Figura 5 se observa, para las subcategorías de las amalgamas dentales, y la producción de petróleo y gas, que la entrada de mercurio es mucho mayor que la sumatoria de las liberaciones estimadas. Esto se debe a que la vida media del empaste, dentro de la boca, se calcula en 10 años, es decir que mientras la entrada se calcula para el año 2009, la salida está mostrando las liberaciones de los últimos 10 años. En el segundo caso, se presenta una situación más compleja debido a que en el balance de materia de mercurio no es preciso determinar en qué punto se pierde el mercurio, por lo tanto se deben considerar los múltiples procesos y las diferentes intervenciones de extracción y refinación del crudo, además de los variados sub-productos obtenidos a partir de esta industria, lo que dificulta la cuantificación.

En la Figura 6, están las Categorías con menor cuantificación de mercurio, que en relación a las otras presentan niveles muy inferiores en su aporte de Hg. Sin embargo, estas actividades también deben tenerse en cuenta en la toma de decisiones ya que muchos sectores generan entradas bajas pero permanentes que en el largo plazo pueden constituir un problema de contaminación.

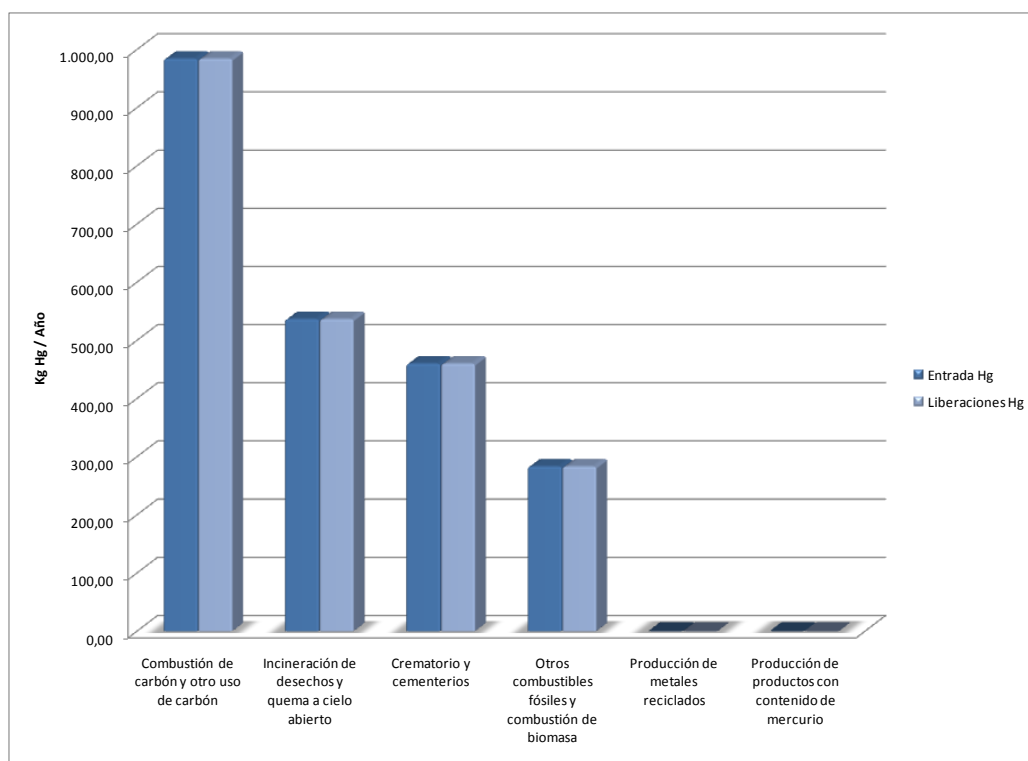


Figura 6. Categorías con menor cuantificación de mercurio

LIBERACIONES DE MERCURIO

Las liberaciones totales de mercurio, para el año 2009, fueron de 345.570 kg distribuidos como se muestra en la Tabla 44.

Tabla 44. Cuantificación de las liberaciones de mercurio en Colombia para el año 2009

Suelo	Aire	Agua	Tratamiento de desechos de sectores específicos /disposición	Subproductos e impurezas	Desechos en general
151.650	74.420	31.260	45.400	28.190	14.650

Tanto en la Tabla 44 como en la Figura 7, se observa que las matrices ambientales más afectadas son el suelo y el aire, que reciben 226.060 kg., y que dentro del proceso productivo, son el tratamiento de desechos y los subproductos e impurezas, las etapas donde se libera la mayor cantidad de mercurio con 73.590 kg.

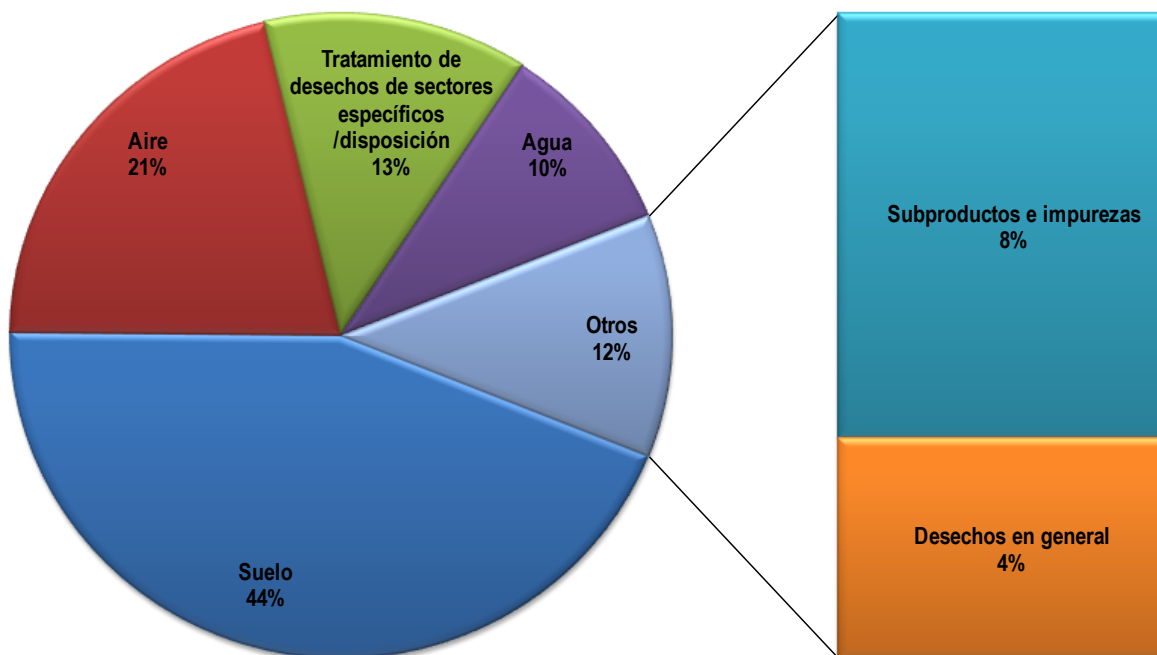


Figura 7. Distribución de las liberaciones de mercurio en las diferentes matrices

ANÁLISIS POR CATEGORÍAS

Del análisis de cada categoría se puede concluir lo siguiente:

Las sub-categorías de Combustión de carbón en plantas de energía grandes y Otros usos del carbón, tienen la misma tasa de actividad debido a que los reportes oficiales no discriminan entre ambas. Además, ambas sub-categorías presentan los mismos factores distribución.

Para la sub-categoría de extracción de oro con amalgamación de mercurio con uso de retortas, no se encontraron cifras oficiales, aunque se sabe que en algunos entables mineros emplean esta tecnología. Adicional a esto el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ha venido adelantando desde el 2007, proyectos piloto de Producción más Limpia que tienen dentro de sus objetivos la reconversión tecnológica, lo cual incluye el uso de retortas. Estos proyectos han logrado reducir la pérdida de mercurio en las retortas entre un 60 y un 100%, dependiendo de las características del yacimiento. Sin embargo, estos datos no son suficientes para realizar una cuantificación a escala nacional.

En Colombia se producen iluminarias, pero no se tienen datos de tasas de actividad oficiales para poder realizar la cuantificación de esta subcategoría.

Los Manómetros para medir presión arterial (esfigmomanómetro de mercurio), contenidos en la categoría Uso y disposición de productos con contenido de mercurio, no fueron tenidos en cuenta en ese inventario debido a que estos no se producen en el país y todas las unidades son importadas y comercializadas. Por otra parte la entrada al país se hace bajo una partida arancelaria que abarca muchos otros productos, imposibilitando su discriminación para efectos de la cuantificación.

La categoría de extracción de oro con amalgamación y sin uso de retorta, es la actividad que usa y libera mayor cantidad de mercurio en el país, siendo la falta de conocimiento por parte de los mineros artesanales, la deficiencia en los controles ambientales y el manejo inadecuado del mercurio, los factores responsables de esta situación. Adicional a esto cabe resaltar que los mineros artesanales en el país creen que a mayor cantidad de mercurio utilizado, mayor recuperación de oro.

VACIOS DE INFORMACIÓN

Debido a que la solicitud de información primaria no aportó datos suficientes para la cuantificación de mercurio, fue necesario acudir a fuentes de información secundaria como artículos de revistas, tesis, e información de las páginas web oficiales. Por lo tanto, los factores de entrada y distribución de mercurio utilizados para los cálculos presentados en este inventario, se tomaron del instrumental del PNUMA.

En la categoría de “Producción y uso de combustibles como fuente de energía”, el instrumental no reporta datos precisos sobre las posibles liberaciones de mercurio, provenientes de la extracción y refinación de petróleo. Sin embargo, los datos sobre el contenido de mercurio en petróleo crudo y refinado indican que si ocurren liberaciones en estos procesos; lo cual constituye un vacío de datos significativo.

En lo referente a la categoría de “Disposición de desechos en rellenos sanitarios / tratamiento de aguas residuales”, el PNUMA supone que todos los países hacen tratamiento de las aguas residuales, lo cual no es cierto en el caso de Colombia donde no se alcanza a recolectar ni tratar el 100% de las aguas residuales domésticas [62]. En cuanto a la sub-categoría de vertederos informales, para el caso colombiano, se deben incluir los botaderos a cielo abierto y sitios de enterramiento, que deben tratarse por separado si se quiere hacer un análisis exhaustivo de las emisiones al aire y se deben considerar los residuos sólidos que se arrojan directamente a los cuerpos de aguas (ríos, quebradas).

En la categoría de “Hornos crematorios y cementerios”, los vacíos de información generados por la falta de programas de monitoreo y a la reserva de las empresas, obligó a tomar como referencia las cifras obtenidas en las grandes ciudades, que siendo significativas no reflejan la realidad de todo el país.

La limitante para la cuantificación de mercurio en la sub-categoría producción de cloro álcali, categoría de “Procesos y producción nacional de productos con uso de mercurio”, consiste en el desconocimiento del tipo de tecnología que se emplea en la industria nacional y en la reserva de las empresas para suministrar la información. La tasa de actividad calculada es más baja que la real ya que uno de los grupos empresariales produce derivados de cloro-soda para comercialización y como materia prima para la producción de cloruro de vinilo (cadena de cloro – vinilo), industria que presenta el mismo vacío de información. Es importante anotar que las empresas de ambos sectores están creciendo, por lo que las emisiones y liberaciones de mercurio pueden aumentar considerablemente, teniendo en cuenta que la entrada de mercurio en esta categoría puede estar presente en la tecnología, en los catalizadores usados en el proceso y en la materia prima como sal, caliza, carbón, etileno, entre otros.

En la categoría de “Gestión y reciclaje de residuos”, sub-categoría de producción de metales ferrosos reciclados, la carencia de información por parte de las empresas chatarrizadoras de vehículos constituye una limitante y la única información disponible es la publicada en la página web del Ministerio de Transporte [2].

En cuanto a los factores de entrada, propuestos en el instrumental PNUMA, para las sub-categorías de extracción de oro con y sin amalgamación; extracción de cobre y níquel, se detectó una gran diferencia para los factores nacionales. Por tal razón se presenta un anexo (anexo c) con los factores propios del país calculados a partir de datos bibliográficos y de los resultados de los muestreos puntuales realizados. Cabe resaltar, que los cálculos realizados en este apartado, no se tienen en cuenta para la estimación total de mercurio en el inventario debido a

que estas fuentes no están incluidas en el instrumental y a que los factores calculados son puntuales y por ende no pueden extrapolarse a nivel nacional.

PUNTOS CALIENTES

Estos puntos calientes hacen referencia a zonas del país que constituyen puntos focales de contaminación por mercurio debido a que en ellas se encuentran vertederos informales de residuos clausurados como son botaderos a cielo abierto, sitios de enterramiento; rellenos sanitarios clausurados; botaderos de colas y escorias minerales y explotaciones ilegales de oro. En algunas de estas zonas se han encontrado valores de hasta 5.000 ppm de Hg [83].

Dentro de estas zonas de riesgo se encuentran las áreas de inundación y sedimentación ubicadas en el sur de Bolívar, especialmente en la Mojana y en la Depresión Momposina; el Golfo de Urabá, en la desembocadura del Río Atrato y en los alrededores de las desembocaduras de los ríos Patía, San Juan (costa pacífica) y Magdalena (costa atlántica); las zonas cercanas a la antigua planta de Cloro álcali en el sector Mamonal de Cartagena, especialmente un área de 130 hectáreas, en las cuales se almacenaban los lodos resultantes de los procesos. Aunque la primera piscina de almacenamiento se cerró en 1986 y la segunda en 1993, los monitoreos realizados en el año 2004, en los cuatro puntos extremos del área, reportaron valores promedio de 1,0012 mg Hg/Kg en los lodos y de 0,0042 mg Hg/Kg en batracios.

En inmediaciones de la Calera (Cundinamarca), se encuentra una planta de cemento clausurada llamada la Siberia, esta funcionó desde 1933 hasta 1998 y tuvo una producción de 150 Ton/día. Se considera un punto caliente por la acumulación de residuos procedentes de materias primas como caliza y yeso, en las cuales podrían existir cantidades traza de mercurio que pueden ser liberadas a la atmosfera. Sin embargo, se pretende realizar un monitoreo para confirmar la presencia de mercurio en esta planta.

En el Corregimiento de Samaria, al norte del Departamento de Caldas, sobre la margen derecha del Río Cauca, se explotó hasta el año 1977 una Mina de mercurio llamada la “Nueva Esperanza”, cuando se ordenó su cierre ante los graves problemas de salud detectados en los trabajadores que explotaban el yacimiento. Para el caso del Corregimiento de Samaria, es probable que se presenten yacimientos desconocidos de mercurio, teniendo en cuenta su cercanía a los yacimientos de “La Nueva Esperanza” ubicados en el Municipio de Aranzazu, Departamento de Caldas. Por ello, se podría estar liberando mercurio metálico al ambiente y a las aguas de consumo humano. Ante esta situación la Universidad de Caldas ha realizado algunos estudios que permiten identificar la situación de salud de los habitantes de la zona [84].

CONCLUSIONES

La cuantificación realizada en este inventario, para el año 2009, muestra que la entrada total de mercurio en Colombia, procedente de los diferentes sectores productivos y de servicios, es de 356.510,00 Kg Hg/año y que la mayor se da al suelo con 151.650,00 Kg/año.

La categoría extracción primaria de metales representa las mayor entrada y liberación de mercurio, y por lo tanto, representa la mayor problemática de contaminación por mercurio en el país, seguida de las categorías de producción de químicos; disposición de residuos y uso y disposición de productos con contenido de mercurio, las cuales constituyen el 97% del total de las entradas de mercurio a las diferentes vías de distribución.

Los análisis de laboratorio realizados permitieron constatar la presencia de mercurio en materias primas naturales, productos elaborados y residuos líquidos y sólidos; sin embargo, es importante realizar estudios posteriores sistemáticos y con suficiente rigurosidad estadística que permitan determinar las líneas base y los rangos de mercurio en todos estos materiales; realizar inferencias de concentraciones regionales y ajustar los cálculos de entrada de mercurio que se presentan en este inventario. Estos resultados no se incluyen debido a que son muestras puntuales propias de las empresas que colaboraron con el estudio y que son considerados confidenciales.

La información de fuentes primarias se obtuvo mediante correos electrónicos, llamadas telefónicas, visitas, entrevistas y oficios; sin embargo, no hubo una respuesta favorable por parte de las empresas y de algunas entidades públicas, lo cual dificultó y limitó la cuantificación.

Con base en los resultados obtenidos en este inventario, se elaboró una propuesta de plan de acción dirigida a establecer metas, acciones y responsabilidades institucionales e interinstitucionales en el ámbito nacional, para reducir, eliminar, prevenir y controlar la contaminación de mercurio. El plan de acción es un documento complementario al inventario.

Como mecanismo de divulgación de la información contenida en este libro, se realizaron talleres de socialización de los resultados del inventario, en las ciudades de Medellín, Cali, Bucaramanga, Bogotá y Cartagena; la convocatoria a estos talleres se hizo a las personas de instituciones académicas, sectores productivos y de prestación de servicios, que de alguna u otra manera están ligadas a las categorías contempladas para efectos de mejor comprensión en este libro. La mayor ganancia de estos talleres, fue que permitieron llegar a otros sectores productivos, diferentes a la minería, que también están involucrados en la problemática del mercurio, y se alcanzó a generar conciencia en muchos de los sectores que se creían ajenos a esta.

Este inventario se encuentra publicado en la página web

RECOMENDACIONES

Debido a los vacíos de información encontrados se hace necesario implementar estrategias para la compilación de información con el fin de complementar este inventario, empezar a elaborar un inventario de nivel 2 y tener un diagnóstico más aproximado a la situación del país.

Para la segunda versión de este inventario se recomienda utilizar los datos de los proyectos de producción más limpia para establecer un factor de entrada propio del país y compararlo con el establecido en el instrumental del PNUMA.

La sub-categoría vertederos informales de residuos, incluye los botaderos a cielo abierto y los sitios de enterramiento de residuos, se recomienda que estos sean tratados por separado para poder realizar un análisis más exhaustivo en cuanto a la estimación de las liberaciones al aire.

Se sugiere incluir como nueva sub-categoría la de “Disposición de residuos sólidos en cuerpos de agua”, ya que el instrumental no la incluye y es una situación que se ha identificado en Colombia.

Las empresas prestadoras del servicio de aseo, en especial de recolección y disposición final, deben aunar esfuerzos, junto con los productores y distribuidores, para la recolección selectiva de residuos sólidos peligrosos de origen domésticos (pilas, medicamentos, bombillas, aerosoles, insecticidas caseros, etc.). Así mismo deben, concientizar y sensibilizar a la comunidad en general, para la correcta separación y entrega.

En Colombia no se tienen estudios que permitan calcular los factores de entrada de mercurio en los desechos sólidos ni en las aguas residuales domésticas. Así mismo, no se conocen factores de emisión y liberación en gases y lixiviados de rellenos ni en tratamientos de aguas residuales, por lo que se hace necesario desarrollar un programa de monitoreo en estas actividades industriales.

Se sugiere reconsiderar la validez de restarle al total de la liberación del mercurio en el suelo, la liberación proveniente de las amalgamas dentales, dado que la ley colombiana da a los empastes con amalgamas dentales un tratamiento de residuo hospitalario lo que solo cantidades traza de mercurio quedan en la saliva y son excretadas a las aguas residuales domésticas.

Se considera importante tener en cuenta la cantidad de mercurio presente en el material de cobertura que se utilice en los rellenos sanitarios, dado que esto puede aumentar las emisiones al aire y al agua (lixiviados).

Se propone incluir otra sub-categoría “Tratamientos de aguas para consumo humano” ya que por la exposición a la contaminación antropogénica o natural por mercurio, los lodos provenientes de estos tratamientos pueden contener cantidades apreciables de mercurio, por lo que se sugiere hacer un programa de monitoreo mediante el cual se pueda obtener esta información.

Cabe aclarar que las recomendaciones técnicas, reglamentarias, educativas y gubernamentales, relacionadas con la problemática del mercurio, son explicadas en la propuesta de plan de acción que complementa este inventario.

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Amalgama: mezcla homogénea de dos o más metales.

Anatomopatológico: examen de las alteraciones a nivel celular, emplea para ello un pedazo de órgano del cuerpo (biopsia) o del órgano extirpado

Antropogénico: se refiere a los procesos, materiales y efectos que resultan de la actividad industrial humana y que tiene un impacto en el entorno ambiental y social. Efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana

Arrabio: material fundido que se obtiene en el alto horno mediante reducción del mineral de hierro. Se utiliza como materia prima en la obtención del acero en los hornos siderúrgicos.

Bauxita: es una roca sedimentaria de origen químico compuesta mayoritariamente principalmente por alúmina (Al_2O_3) y, en menor medida, óxido de hierro y sílice

Bioacumulación: es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos.

Biocida: sustancia química sintética o de origen natural o microorganismos, que están destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de otro tipo sobre cualquier organismo considerado nocivo para el hombre.

Biomagnificación: es un proceso de bioacumulación de una sustancia tóxica. Ésta se presenta en bajas concentraciones en organismos al principio de la cadena trófica y en mayor proporción a medida que se asciende en la cadena trófica.

Biosanitario (residuos): son los residuos específicos de la actividad sanitaria, potencialmente contaminados con sustancias biológicas al haber estado en contacto con pacientes o líquidos biológicos.

Catalizador: Sustancia que hace más rápida la velocidad de una reacción química sin participar en ella.

Cloro-álcali: hace referencia a las dos sustancias químicas (cloro y un álcali) que se producen simultáneamente como resultado de la electrólisis del agua salada

Dioxinas: son compuestos químicos obtenidos a partir de procesos de combustión que implican en su estructura al cloro.

Distrito minero: manera informal colombiana para referirse a un municipio, o grupo de municipios, donde se halla ubicado un número significativo de productores mineros.

Entrada estimada o factor de entrada: es el contenido de mercurio por unidad de materia prima procesada, para las sub-categorías con sólo una etapa de ciclo de vida (como la combustión de carbón); para las sub-categorías con más de una etapa en el ciclo de vida (como la producción de pilas), el factor de entrada se define etapa por etapa.

Factores de distribución de las emisiones: la fracción o parte, sin unidades, de la entrada de mercurio que se libera a través de una vía en particular (aire, agua, tierra, producto, desecho general o tratamiento específico de desechos).

Furanos: son compuestos orgánicos heterocíclicos, altamente inflamables y muy volátiles, con un punto de ebullición cercano al de la temperatura ambiente.

Mena: se utiliza para denominar una acumulación de minerales cuya concentración de metales puede considerarse para una explotación económica. En el caso del oro, esta acumulación puede darse en los sedimentos de los ríos (oro aluvial) donde se presenta el mineral sólo o en la roca (oro de filón) donde está acompañado de otros minerales y de material estéril o sin valor económico.

Puntos calientes: lugares específicos donde se presenta fenómenos naturales de bioacumulación o liberación de mercurio, debido a condiciones ambientales, provenientes del uso intencional de mercurio por el hombre.

Turba: material orgánico de color pardo oscuro y rico en carbono, formado por una masa ligera y esponjosa, a la cual se le aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos

SIGLAS Y UNIDADES EMPLEADAS

SIGLAS DE INSTITUCIONES

ANDI: Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.

CORANTIOQUIA: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.

DIAN: Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales de Colombia.

FEDEMETAL: Asociación de Industrias de Metal.

INGEOMINAS: Instituto Colombiano de Geología y Minería.

ONUUDI / UNIDO: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial / The United Nations Industrial Development Organization.

OSHA: Occupational Safety and Health Administration (no tiene sigla ni traducción oficial al español).

UNEP / PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente / United Nations Environment Programme.

UN Comtrade: United Nations Commodity Trade Statistics Database (no tiene sigla ni traducción oficial al español).

SIGLAS DE PRODUCTOS

LFC: Lámparas fluorescentes compactas

MCV: monómero de cloruro de vinilo / **VCM:** Vinyl Chloride Monomer.

UNIDADES DE MEDIDA

m³: metro cubico.

Nm³: Volumen de un metro cúbico en condiciones normales.

Kg: kilogramo.

t: tonelada métrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mancera Rodríguez NJ, Álvarez León R. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 2006;11(1):3-23.
2. Olivero-Verbel J, Caballero-Gallardo K, Torres-Fuentes N. Assessment of mercury in muscle of fish from Cartagena Bay, a tropical estuary at the north of Colombia. *International Journal of Environmental Health Research*. 2009;19(5):343-55.
3. UPME. Producción más limpia en la minería del oro en Colombia [Electronico]. Bogotá2007 [Citado 2010 05 Oct 2010]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria_limpia.pdf.
4. Olivero Verbel J, Johnson Restrepo B. El lado gris de la minería del oro: la contaminación con mercurio en el norte de Colombia. Cartagen2002 [Citado 2010 05 Oct 2010]. Disponible en: [http://reactivos.com/images/LIBRO_MERCURIO - Olivero-Johnson-Colombia.pdf](http://reactivos.com/images/LIBRO_MERCURIO_-_Olivero-Johnson-Colombia.pdf).
5. Olivero J, Solano B. Mercury in environmental samples from a waterbody contaminated by gold mining in Colombia, South America. *The Science of The Total Environment*. [doi: 10.1016/S0048-9697(98)00175-2]. 1998;217(1-2):83-9.
6. Olivero-Verbel J, Johnson-Restrepo B, Mendoza-Marín C, Paz-Martínez R, Olivero-Verbel R. Mercury in the Aquatic Environment of the Village of Caimito at the Mojana Region, North of Colombia. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2004;159(1):409-20.
7. Marrugo-Negrete J, Olivero, Verbel J, Ceballos E, Benítez L. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. *Environmental Geochemistry and Health*. 2008;30(1):21-30.
8. INGEOMINAS. Producción Nacional de Minerales. Bogotá2010 [15 Sep 2010]; Producción Nacional de Minerales año 2009]. Disponible en: <http://www.ingeominas.gov.co/Mineria/Regalias/Produccion-Nacional-de-Minerales.aspx>.
9. Veiga MM. Antioquia, Colombia: the world's most polluted place by mercury: impressions from two field trips. United Nations Industrial Development Organization; 2010. p. 26.
10. La-Republica. Mercurio, el lado oscuro del boom del oro en Colombia. *Diario La Republica* [serial on the Internet]. 2010: Disponible en: http://www.larepublica.com.co/archivos/ECONOMIA/2010-07-14/mercurio-el-lado-oscuro-del-boom-del-oro-en-colombia_105383.php.
11. UPNE. Alteraciones neurocomportamentales en personas expuestas a mercurio en la actividad minera del oro en el municipio de Segovia (Antioquia) 2005. Bogotá: Unidad de planeación minero-energética; 2006 15 Sep 2010]. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria/1887.pdf>.
12. Idrovo ÁJ, Manotas LE, Villamil de García G, Ortiz JE, Silva E, Romero SA, et al. Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Orinoquia colombiana). *Biomédica*. 2011;21(2):134-41.
13. Olivero-Verbel J, Johnson-Restrepo B, Baldiris-Avila R, Güette-Fernández J, Magallanes-Carreazo E, Vanegas-Ramírez L, et al. Human and crab exposure to mercury in the Caribbean coastal shoreline of Colombia: Impact from an abandoned chlor-alkali plant. *Environment International*. 2008;34(4):476-82.

14. Lin C-J, Pehkonen SO. Two-phase model of mercury chemistry in the atmosphere. *Atmospheric Environment*. 1998;32(14-15):2543-58.
15. Yudovich YE, Ketris MP. Mercury in coal: a review: Part 1. Geochemistry. *International Journal of Coal Geology*. 2005;62(3):107-34.
16. De Flora S, Bennicelli C, Bagnasco M. Genotoxicity of mercury compounds. A review. *Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology*. 1994;317(1):57-79.
17. Schuurs AHB. Reproductive toxicity of occupational mercury. A review of the literature. *Journal of Dentistry*. 1999;27(4):249-56.
18. EPA. Mercury - Human Exposure. 2010 [Citado 2010 01 Oct]; Disponible en: <http://www.epa.gov/hg/exposure.htm>.
19. Grandjean P, Satoh H, Murata K, Eto K. Adverse Effects of Methylmercury: Environmental Health Research Implications. *Environ Health Perspect*. 2010;118(8).
20. Barshick CM, Barshick S-A, Britt PF, Lake DA, Vance MA, Walsh EB. Development of a technique for the analysis of inorganic mercury salts in soils by gas chromatography/mass spectrometry. *International Journal of Mass Spectrometry*. 1998;178(1-2):31-41.
21. Counter SA, Buchanan LH. Mercury exposure in children: a review. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2004;198(2):209-30.
22. Health-Canada. Mercury and Human Health. 2009 [Citado 2010 15 Oct]; Disponible en: <http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/enviro/merc-eng.php>.
23. UPME. Políticas ambientales Bogotá2010 [Citado 2010 15 de Sep]; Disponible en: http://www.upme.gov.co/quia_ambiental/carbon/gestion/politica/politica/politica.htm#POLÍTICAS
24. ICPC. Producción de Cemento en Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano de Productores de Cemento; 2010 [Citado 2010 06 de Abril]; Disponible en: <http://www.icpc.org.co/site/pages/cifras.html>.
25. ANH. Producción de crudo y gas natural. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Hidrocarburos; 2010 [Citado 2010 24 May]; Disponible en: <http://www.anh.gov.co/es/index.php?id=8>.
26. Fenalco. Parques cementerios Bogotá: Fenalco; 2010 [Citado 2010 06 de Oct]; Disponible en: http://www.fenalcobogota.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=1521&Itemid=1.
27. AMERICAN-PUBLIC-HEALTH-ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21 ed. New York2005.
28. PNUMA. Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases. Geneva, Switzerland2005 [Citado 2010 15 de Sep]. Disponible en: <http://www.chem.unep.ch/mercury/Toolkit/UNEP-final-pilot-draft-toolkit-Dec05.pdf>.
29. Morales Y W, Carmona L I. Estudio de algunos elementos traza en carbones de la cuenca Cesar – Ranchería, Colombia. *Boletín de ciencias de la tierra*. 2007;20(1):75-88.
30. SIMCO. Anuario estadístico minero colombiano. Ministerio de Minas y Energía; 2009 [Citado 2010 15 de Sep]; Disponible en: http://www.simco.gov.co/Portals/0/Otros/DOC_ESP.pdf.

31. IMC. Boletín Minero. Bogotá: Información minero Colombiano; 2009 [Citado 2010 13 de May]; Disponible en: <http://www.imcportal.com/index.php>.
32. SIMCO. Información de Exportaciones. Bogotá: Sistema de Información Minero Colombiano; 2010 [Citado 2010 15 de May]; Disponible en: http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/consulta_exportaciones.aspx?idmodulo=4.
33. Labarthe F H, Reiche C C. Consumo de leña y otros combustibles en trapiches In: Turrialba CRC, editor. Consumo de leña y otros combustibles en trapiches de San Ramón, Costa Rica. San José, Costa Rica 1989. p. 75.
34. ASOCAÑA. Una agroindustria que jalona el crecimiento regional y nacional. Informe Anual 2009 - 2010. Cali, Colombia: ASOCAÑA; 2010. p. 43.
35. Pirrone N, Costa P, Pacyna JM, Ferrara R. Mercury emissions to the atmosphere from natural and anthropogenic sources in the Mediterranean region. Atmospheric Environment. 2001;35(17):2997-3006.
36. ACP. Sector Minero y Petrolero en Colombia. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana del Petróleo; 2009 [Citado 2010 22 de May]; Disponible en: http://www.acp.com.co/assets/documents/asuntos%20economicos/exploracion%20y%20produccion/2010/doctecnico_prorroga_aranceles_2010.pdf.
37. Municipalidad-de-Marmato-Caldas. Perspectivas económicas Municipio de Marmato Caldas. Marmato Caldas 2010 [Citado 2010 07 de Oct]; Disponible en: <http://marmato-caldas.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=mlxx-1-&m=f#economia>.
38. SIMCO. Producción de Minerales, Exportaciones (pago regalías). Bogotá, Colombia: Sistema de Información Minero Colombiano; 2009 [Citado 2010 24 Sep]; Disponible en: <http://www.simco.gov.co/simco/Estad%C3%ADsticas/Producci%C3%B3n/tabid/121/Default.aspx>.
39. Botero Botero SM. Caracterización mineralógica de la mena y concentrado aurífero proveniente de la zona alta del distrito minero de Marmato y su implicación en las alternativas metalúrgicas extractivas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia; 2006.
40. Carreño EW. Incorporación de tecnologías limpias para beneficiar minerales auríferos en la pequeña minería de vetas y californita (Santander) buscando reducir vertimientos de mercurio y cianuro. Bucaramanga, Colombia 2009 [Citado 2010 24 May]; Disponible en: http://www.cdm.gov.co/ciaga/documentosciaga4/articulo_mineria.pdf.
41. UPME. Unidad de planeación minero energética Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética; 2005 [Citado 2010 14 Oct]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Distritos_Mineros.pdf.
42. Medoro-Reources. Annual and Special Meeting of Shareholders Toronto, Canada: Medoro Resources Ltd; 2010 [Citado 2010 14 de Oct]; Disponible en: http://www.medororesources.com/site/ywd_medororesources/assets/pdf/Management_Information_Circular_2010.pdf.
43. UN-Contrade. Importación de mercurio metálico en Colombia. New York: United Nations; 2010 [Citado 2010 7 de Oct]; Disponible en: <http://comtrade.un.org/db/dqBasicQueryResults.aspx?px=HS&cc=280540&r=170&p=0&q=1&y=2009,2008,2007,2006,2005&so=8>.

44. Uribe M. Industria papelera : ejemplo de compromiso ambiental. Revista Andi. 2010;222(1):32 - 40.
45. DANE. Encuesta anual manufacturera. Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística; 2010 [Citado 2010 11 de Oct]; Disponible en: http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=96&Itemid=59.
46. Revista-Dinero. Se agita mercado de la sal en Colombia. Bogotá2006 [Citado 2010 10 de Agost]; Disponible en: http://www.dinero.com/negocios/agita-mercado-sal-colombia_24024.aspx.
47. Revista-Dinero. Sal para muchos años. Bogotá2010 [Citado 2010 10 de Agost]; Disponible en: http://www.dinero.com/wf_ImprimirArticulo.aspx?IdRef=58783&IdTab=1.
48. oceana.org. La contaminación del mar por mercurio tiene una de sus principales fuentes en la industria de cloro-álcali. noticias.info; 2005 [Citado 2010 30 de Sept]; Disponible en: http://www.noticias.info/Archivo/2005/200501/20050128/20050128_46457.shtm.
49. EuroChlor. Industria europea cloro-álcali - Caminando Hacia un Desarrollo Sostenible. Bruselas, Bélgica: Euro Chlor; 2010 [Citado 2010 30 de Sep]; Disponible en: <http://www.eurochlor.org/upload/documents/document15.pdf>.
50. Console S, Veiga MM, editors. Mercury Import and Consumption in Antioquia, Colombia2009.
51. portafolio.com.co. Grupo Mexichem amplía sus negocios en Colombia: adquirió Colpozos S.A. Bogotá: Diario El Tiempo; 2008 [Citado 2010 15 de Agost]; Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4080280>.
52. Mexichem. Resinas Colombia suscribe acuerdo con Braskem para exportación de PVC. Ciudad de Mexico: Mexichem 2010 [Citado 2010 15 de Agost]; Disponible en: <http://www.mexichem.com/resinascolombia/noticias10.html#160210>
53. Mexichem. Nuestra industria en cifras Mercado Mundial PVC en Colombia. Mexico D.F.2009 [Citado 2010 28 de Agost]; Disponible en: http://www.mexichem.com/resinascolombia/industria_cifras.html. .
54. IMC. Colsalminas ingresa a competir en el mercado de la sal. Bogotá: Información Minera de Colombia; 2008 [Citado 2010 2 de Oct]; Disponible en: <http://www.imcportal.com/newsfiles/20080921053420.pdf?PHPSESSID=9786bddf273623046d8d47e5816a4af4>.
55. ANDI. Pilas y medio ambiente. Bogotá: Cámara sector de electrodomésticos; 2010 [Citado 2010 11 de Oct]; Disponible en: http://www.andi.com.co/pages/proyectos_paginas/proyectos_detail.aspx?pro_id=177&Id=20&clase=8&Tipo=2.
56. Convenio de cooperación científica y tecnológica para desarrollar actividades relacionadas con la gestión de los residuos posconsumo de fuentes de iluminación, pilas primarias y secundarias Bogotá: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial; 2008.
57. LITO. Servicios de almacenamiento. Medellín: Gestión Integral de Excedentes Industriales y Residuos Peligrosos; 2010 [Citado 2010 06 de Oct]; Disponible en: http://www.litoltda.com/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=30.

58. Inventario Nacional de fuentes de liberaciones de dioxinas y furanos de Colombia línea base 2002. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial; [Citado 2010 06 de Oct]. Disponible en: http://siscop.ine.gob.mx/descargas/pnis/colombia_dioxinas_y_furanos.pdf.
59. Política ambiental para la gestión de desechos o residuos peligrosos (2005). . Bogotá: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial; [Citado 2010 06 de Oct]. Disponible en: http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/residuos/publicacion_politica.pdf.
60. Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares de 2002. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Salud, Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos de Bogotá; 2002 [Citado 2010 06 de Oct]; Disponible en: http://oab.ambientebogota.gov.co/resultado_busquedas.php?AA_SL_Session=8cf97c692bfb8688eaf05115108c7ab8&x=2776.
61. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia – diagnóstico 2009. Bogotá: Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios; [Citado 2010 18 de Marzo]; Disponible en: http://www.superservicios.gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=bcd04c23-976c-4244-9ed5-1685b66824fe&groupId=10122.
62. Sistemas de alcantarillado en Colombia. Visión del servicio público. Bogotá DC. Bogotá: Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. Grupo de estudios sectoriales acueducto y alcantarillado; 2009 [Citado 2010 18 de Marzo]; Disponible en: <http://www.superservicios.gov.co/home/web/guest/publicaciones>.
63. EPA. Mercury Study Report to Congress. United States Environmental Protection Agency; 2008 [Citado 2010 18 de Mayo]; Disponible en: <http://www.epa.gov/hg/report.htm>.
64. WHO. Elemental mercury and inorganic mercury compounds: human health aspects. Geneva: World Health Organization; 2003 [Citado 2010 18 de Mayo]; Disponible en: <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad50.pdf>.
65. WHO. El Mercurio en el Sector de la Salud. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2005 [Citado 2010 11 de Oct]; Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/mercurio_es.pdf.
66. Maxson P. Mercury flows in Europe and the world: The impact of decommissioned chloralkali plants. Draft final. Bruselas: European Commission Directorate General for Environment; 2003 [Citado 2010 23 de Agosto]; Disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/report.pdf>.
67. UNEP. Summary of Supply, Trade and Demand Information on Mercury. Geneva: UNEP Chemicals; 2006 [Citado 11 de Oct]; Disponible en: www.chem.unep.ch/mercury/Trade-information.htm.
68. Morrison J. Exposure assessment of household mercury spills. Journal of Chemical Health and Safety.14(1):17-21.
69. SÖRme L, Lindqvist A, SÖDerberg H. Capacity to Influence Sources of Heavy Metals to Wastewater Treatment Sludge. Environmental Management. 2003;31(3):0421-8.
70. Sörme L, Lagerkvist R. Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. The Science of The Total Environment. 2002;298(1-3):131-45.

71. Skare I, Engqvist A. Human Exposure to Mercury and Silver Released from Dental Amalgam Restorations. Archives of Environmental Health: An International Journal. 1994 1994/10/01;49(5):384-94.
72. NJ-MTF. New Jersey Mercury Task Force Report. Volume III. Sourcea of Mercury in New Jersey. New Jersey: New Jersey Department of Enviromental Protection; 2002 [Citado 2010 13 de Agost]; Disponible en: <http://www.state.nj.us/dep/dsr/Vol3-chapter1.pdf>.
73. Galliga C, Moros G. An Investigation of Alternatives to Miniature Batteries Containing Mercury. Lowell Center for sustainable Production. Massachusetts University of Massachusetts Lowell; 2004 [Citado 2010 17 de Oct]; Disponible en: <http://www.maine.gov/dep/mercury/minibattalt.pdf>.
74. Convenio de cooperación científica y tecnológica para desarrollar actividades relacionadas con la gestión de los residuos posconsumo de fuentes de iluminación, pilas primarias y secundarias. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
75. Maine.gov. Mercury Use in Button Batteries. Department of Environmental protection; 2005 [Citado 2010 03 de Oct]; Disponible en: http://www.maine.gov/dep/rwm/mercury/button_battery_report.htm.
76. COWI. Reduction of atmospheric mercury emissions from Arctic countries - questionnaire on emissions and related topics. Denmark: ACAP and Danish Environmental Protection Agency; 2002 [Citado 2010 07 de Nov]; Disponible en: <http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/DC66C438-D61E-49C6-AD5D-72968DC5849F/0/ACAPHgquestionnaireintroduction.PDF>.
77. Floyd PZ, Crane ST, Bencko V. Risks to Health and the Environment Related to the Use of Mercury Products. Brussels: Prepared for the European Commission, DG Enterprise, Risk & Policy Analysts Limited. Contract J372/Mercury; 2002 [Citado 2010 12 de Agost].
78. Reindl J. Summary of References on Mercury Emissions from Crematoria. Wisconsin: Madison Wisconsin: Dane County Department of Public Works; 2008 [Citado 2010 06 de Oct]; Disponible en: <http://www.ejnet.org/crematoria/reindl.pdf>.
79. Inventario Nacional de Fuentes y Liberaciones de Dioxinas y Furanos en Colombia. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; 2007 [Citado 2010 14 Jun]; Disponible en: http://siscop.ine.gob.mx/descargas/pnis/colombia_dioxinas_y_furanos.pdf.
80. El-Tiempo.com. Investigan a consorcio administrador de hornos crematorios por no controlar contaminación ambiental. Bogotá: El Tiempo; 2009 [Citado 2010 06 de Oct]; Disponible en: http://200.41.9.38/colombia/bogota/ARTICULO-PRINTER_FRIENDLY-PLANTILLA_PRINTER_FRIENDLY-6422387.html.
81. Santarsiero A, Settimo G, Dell'Andrea E. Mercury emission from crematoria. Ann Ist Super Sanità. 2006;42(3):369-73.
82. Caracol.com.co. Por ecología y economía crece la cultura de la cremación en Colombia. Bogotá: Caracol Radio; 2009 [Citado 2010 06 de Oct]; Disponible en: <http://www.caracol.com.co/nota.aspx?id=878727>.
83. Ramírez J. Recuperación de mercurio a partir de efluentes sólidos de amalgamación y cianuración en el nordeste antioqueño [Tesis de grado]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia; 2005.
84. La exposición a mercurio metálico. Bogotá: Biosalud – Revista de Ciencias Básicas; 2010 [Citado 2010 17 de Oct]; Disponible en: http://biosalud.ucaldas.edu.co/downloads/Revista%201_5.pdf.